

05826 US

02P.

017

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application:

2000年 2月25日

出 願 番 号  
Application Number:

特願2000-050137

出 願 人  
Applicant (s):

株式会社ニコン

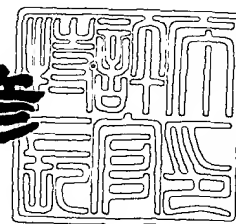
10928 U.S. PRO  
09/697639  
10/27/00

11/2/01  
M. Prudgen

2000年 6月 9日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Patent Office

近 藤 隆 彦



出証番号 出証特2000-3044373

【書類名】 特許願

【整理番号】 00-00157

【提出日】 平成12年 2月25日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/027

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン  
内

【氏名】 小松田 秀基

【特許出願人】

【識別番号】 000004112

【氏名又は名称】 株式会社ニコン

【代表者】 吉田 庄一郎

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 005223

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 露光装置および該露光装置を用いてマイクロデバイスを製造する方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 マスクに形成されたパターンを感光性基板に投影するために、光軸に対して偏芯した露光視野を含む投影系と；露光のための光束を前記露光視野へ導くために、前記投影系の光軸に対して偏芯した前記マスク上の位置に照明領域を形成する照明光学系と；前記投影系に対して前記マスク及び前記感光性基板を所定の走査露光方向に沿って相対的に移動させる移動手段と；前記マスクに形成される照明領域又は前記感光性基板に形成される前記投影系の露光視野における前記走査露光方向に沿った照明特性を調整する第 1 照明調整手段と；前記マスクに形成される照明領域又は前記感光性基板に形成される前記投影系の露光視野における前記走査露光方向と交差する方向での照明特性を調整するために第 2 照明調整手段と；前記マスクに形成される照明領域又は前記感光性基板に形成される前記投影系の露光視野におけるテレセントリシティに傾斜成分を付与する第 1 テレセントリシティ調整手段と；前記マスクに形成される照明領域又は前記感光性基板に形成される前記投影系の露光視野における前記光軸からの位置に応じたテレセントリシティを調整する第 2 テレセントリシティ調整手段と；を含むことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 のいずれかに記載の露光装置。

【請求項 2】 前記照明光学系は、前記マスク上において前記走査露光方向を横切る方向の円弧状の照明領域を形成することを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置。

【請求項 3】 前記第 1 照明調整手段は、前記走査露光方向に沿って傾斜した照度分布成分を付与し、前記第 2 照明調整手段は、前記走査露光方向と交差する方向に沿って傾斜した照度分布成分を付与することを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の露光装置。

【請求項 4】 前記照明光学系は、多数の照明用光学部材を含み、前記第 1 及び第 2 照明調整手段は、前記多数の照明用光学部材のうちの少なくとも 1 つの同一の照明用光学部材を互いに異なる方向に傾斜又は移動させる、あるいは前記多数の

照明用光学部材のうちの互い異なる照明用光学部材をそれぞれ傾斜又は移動させることを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の露光装置。

【請求項5】前記第1テレセントリシティ調整手段は、前記第1及び第2照明調整手段によって調整される照明用光学部材とは別の照明用光学部材を調整し、第2テレセントリシティ調整手段は、前記第1テレセントリシティ調整手段により調整される照明用光学部材と同一な照明用光学部材又は前記第1テレセントリシティ調整手段により調整される照明用光学部材とは別の照明用光学部材を調整することを特徴とする請求項4に記載の露光装置。

【請求項6】前記照明光学系は、多数の照明用反射部材を含み、前記第1照明調整手段、第2照明調整手段、第1テレセントリシティ調整手段及び第2テレセントリシティ調整手段は、前記照明光学系の一部の照明用反射部材の位置をそれぞれ調整することを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の露光装置。

【請求項7】前記第1及び第2照明調整手段は、同一の照明用反射部材を互いに異なる軸回りに傾斜、又は同一の照明用反射部材を互いに異なる方向に移動させることを特徴とする請求項6に記載の露光装置。

【請求項8】前記第1及び第2テレセントリシティ調整手段は、同一の照明用反射部材を互いに異なる方向に移動させることを特徴とする請求項6又は請求項7に記載の露光装置。

【請求項9】前記第1及び第2照明調整手段は、前記第1及び第2テレセントリシティ調整手段により調整される照明用反射部材とは別の照明用反射部材を調整することを特徴とする請求項8に記載の露光装置。

【請求項10】前記照明光学系は、前記光束を供給する光源手段と、前記マスク又は前記感光性基板での照明分布を均一にする反射型オプティカルインテグレータと、前記光源手段と前記反射型オプティカルインテグレータとの間に配置されて前記光源手段からの光束を前記反射型オプティカルインテグレータへ導く導光光学系とを含むことを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の露光装置。

【請求項11】前記マスクに形成される照明領域での照明条件又は前記感光性基

板に形成される前記投影系の露光視野での照明条件を変更する照明条件変更手段とをさらに配置し、

前記第1照明調整手段、第2照明調整手段は、前記第1テレセントリシティ及び前記第2テレセントリシティ調整手段は、前記照明条件変更手段による照明条件の変更に応じて各調整をそれぞれ行うことを特徴とする請求項1乃至請求項10のいずれかに記載の露光装置。

【請求項12】請求項1乃至請求項11に記載の露光装置を用いてマイクロデバイスを製造する方法において、

前記照明光学系を用いて前記マスクを照明する工程と；

前記投影系を用いて前記マスクのパターン像を前記感光性基板に露光する工程と；を含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法。

【請求項13】複数の照明用反射部材を含み露光のための光束をマスクへ導く照明光学系と；前記マスクのパターンを感光性基板に投影する投影系と；前記投影系に対して前記マスク及び前記感光性基板を所定の走査露光方向に沿って相対的に移動させる移動手段と；前記マスクに形成される照明領域又は前記感光性基板に形成される前記投影系の露光視野におけるテレセントリシティに傾斜成分を付与する第1テレセントリシティ調整手段と；前記マスクに形成される照明領域又は前記感光性基板に形成される前記投影系の露光視野における前記光軸からの位置に応じたテレセントリシティを調整する第2テレセントリシティ調整手段と；を含む、

前記第1及び第2テレセントリシティ調整手段は、前記照明光学系の一部の照明用反射部材をそれぞれ調整することを特徴とする露光装置。

【請求項14】第2テレセントリシティ調整手段は、前記第1テレセントリシティ調整手段により調整される照明用反射部材を第1テレセントリシティ調整手段とは異なる方向に移動させる、あるいは前記第1テレセントリシティ調整手段により調整される照明用反射部材とは別の照明用反射型部材を移動させることを特徴とする請求項13に記載の露光装置。

【請求項15】前記照明光学系は、前記光束を供給する光源手段と、前記マスク又は前記感光性基板での照明分布を均一にする反射型インテグレータと、前記光

源手段と前記反射型インテグレータとの間に配置されて前記光源手段からの光束を前記反射型インテグレータへ導く導光光学系とを含むことを特徴とする請求項 13 又は請求項 14 に記載の露光装置。

【請求項 16】前記投影系は、光軸に対して偏芯した露光視野を含み、前記照明光学系は、複数の照明用反射部材を用いて露光のための光束を前記露光視野へ導くために、前記投影系の光軸に対して偏芯した前記マスク上の位置に照明領域を形成することを特徴とする請求項 13 至請求項 15 のいずれかに記載の露光装置。

【請求項 17】前記マスクに形成される照明領域での照明条件又は前記感光性基板に形成される前記投影系の露光視野での照明条件を変更する照明条件変更手段とをさらに配置し、

前記第 1 テレセントリシティ及び前記第 2 テレセントリシティ調整手段は、前記照明条件変更手段による照明条件の変更に応じて各調整をそれぞれ行うことを特徴とする請求項 13 乃至請求項 16 のいずれかに記載の露光装置。

【請求項 18】請求項 13 乃至請求項 17 に記載の露光装置を用いてマイクロデバイスを製造する方法において、

前記照明光学系を用いて前記マスクを照明する工程と、

前記投影系を用いて前記マスクのパターン像を前記感光性基板に露光する工程を含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光リソグラフィー工程によってマイクロデバイス（半導体デバイス等の半導体素子、液晶表示素子、撮像素子（例えば、CCD）、薄膜磁気ヘッド等）を製造する際に、好適な露光装置、及びその露光装置を用いて良好なるマイクロデバイスを製造する方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、この種の照明装置を備えた半導体素子の製造用の露光装置は、マスク上に形成される回路パターンを投影光学系を介してレチクルが塗布されたウエハ等の感光性基板上に投影転写する。

## 【 0 0 0 3 】

特に、5 nm～20 nm程度の軟X線領域の光（EUV光：Extreme Ultra-Violet光）を用いた露光装置としては、例えば、米国特許第5, 737, 137号において提案されている。

## 【 0 0 0 4 】

## 【発明が解決しようとする課題】

感光性基板上により一層微細なパターンを感光性基板に転写するためには、照明装置においてもより一層厳しい照明条件を十分に満たす必要がある。

## 【 0 0 0 5 】

しかしながら、厳しい照明条件を十分に満たすための調整手法は調整機構について知られていない。

## 【 0 0 0 6 】

そこで、本発明では、厳しい照明条件を十分に満たし得る高性能な露光装置、及びより一層微細なパターンの露光によってより一層優れたマイクロデバイスの製造方法を提供することを目的としている。

## 【 0 0 0 7 】

【課題を解決するための手段】 上記の目的を達成するために、請求項1に係る発明では、マスクに形成されたパターンを感光性基板に投影するために、光軸に対して偏芯した露光視野を含む投影系と；露光のための光束を前記露光視野へ導くために、前記投影系の光軸に対して偏芯した前記マスク上の位置に照明領域を形成する照明光学系と；前記投影系に対して前記マスク及び前記感光性基板を所定の走査露光方向に沿って相対的に移動させる移動手段と；前記マスクに形成される照明領域又は前記感光性基板に形成される前記投影系の露光視野における前記走査露光方向に沿った照明特性を調整する第1照明調整手段と；前記マスクに形成される照明領域又は前記感光性基板に形成される前記投影系の露光視野における前記走査露光方向と交差する方向での照明特性を調整するために第2照明調整手段と；前記マスクに形成される照明領域又は前記感光性基板に形成される前記投影系の露光視野におけるテレセントリシティに傾斜成分を付与する第1テレセントリシティ調整手段と；前記マスクに形成される照明領域又は前記感光性基板

に形成される前記投影系の露光視野における前記光軸からの位置に応じたテレセントリシティを調整する第2テレセントリシティ調整手段と；を含む構成としたものである。

【0008】

また、請求項2に係る発明では、前記照明光学系は、前記マスク上において前記走査露光方向を横切る方向の円弧状の照明領域を形成するようにしたものである。

【0009】

また、請求項3に係る発明では、前記第1照明調整手段は、前記走査露光方向に沿って傾斜した照度分布成分を付与し、前記第2照明調整手段は、前記走査露光方向と交差する方向に沿って傾斜した照度分布成分を付与する構成としたものである。

【0010】

また、請求項4に係る発明では、前記照明光学系は、多数の照明用光学部材を含み、前記第1及び第2照明調整手段は、前記多数の照明用光学部材のうちの少なくとも1つの同一の照明用光学部材を互いに異なる方向に傾斜又は移動させる、あるいは前記多数の照明用光学部材のうちの互い異なる照明用光学部材をそれぞれ傾斜又は移動させる構成としたものである。

【0011】

また、請求項5に係る発明では、前記第1テレセントリシティ調整手段は、前記第1及び第2照明調整手段によって調整される照明用光学部材とは別の照明用光学部材を調整し、第2テレセントリシティ調整手段は、前記第1テレセントリシティ調整手段により調整される照明用光学部材と同一な照明用光学部材又は前記第1テレセントリシティ調整手段により調整される照明用光学部材とは別の照明用光学部材を調整する構成としたものである。

【0012】

また、請求項6に係る発明では、前記照明光学系は、多数の照明用反射部材を含み、前記第1照明調整手段、第2照明調整手段、第1テレセントリシティ調整手段及び第2テレセントリシティ調整手段は、前記照明光学系の一部の照明用反



射部材の位置をそれぞれ調整する構成としたものである。

【 0 0 1 3 】

また、請求項 7 に係る発明では、前記第 1 及び第 2 照明調整手段は、同一の照明用反射部材を互いに異なる軸回りに傾斜、又は同一の照明用反射部材を互いに異なる方向に移動させる構成としたものである。

【 0 0 1 4 】

また、請求項 8 に係る発明では、前記第 1 及び第 2 テレセントリシティ調整手段は、同一の照明用反射部材を互いに異なる方向に移動させる構成としたものである。

【 0 0 1 5 】

また、請求項 9 に係る発明では、前記第 1 及び第 2 照明調整手段は、前記第 1 及び第 2 テレセントリシティ調整手段により調整される照明用反射部材とは別の照明用反射部材を調整する構成としたものである。

【 0 0 1 6 】

また、請求項 1 0 に係る発明では、前記照明光学系は、前記光束を供給する光源手段と、前記マスク又は前記感光性基板での照明分布を均一にする反射型オプティカルインテグレータと、前記光源手段と前記反射型オプティカルインテグレータとの間に配置されて前記光源手段からの光束を前記反射型オプティカルインテグレータへ導く導光光学系とを含む構成としたものである。

【 0 0 1 7 】

また、請求項 1 1 に係る発明では、前記マスクに形成される照明領域での照明条件又は前記感光性基板に形成される前記投影系の露光視野での照明条件を変更する照明条件変更手段とをさらに配置し、前記第 1 照明調整手段、第 2 照明調整手段は、前記第 1 テレセントリシティ及び前記第 2 テレセントリシティ調整手段は、前記照明条件変更手段による照明条件の変更に応じて各調整をそれぞれ行う構成としたものである。

【 0 0 1 8 】

また、請求項 1 2 に係る発明では、請求項 1 乃至請求項 1 1 に記載の露光装置を用いてマイクロデバイスを製造する方法において、前記照明光学系を用いて前

記マスクを照明する工程と；前記投影系を用いて前記マスクのパターン像を前記感光性基板に露光する工程と；を含む構成としたものである。

【 0 0 1 9 】

また、請求項 1 3 に係る発明では、複数の照明用反射部材を含み露光のための光束をマスクへ導く照明光学系と；前記マスクのパターンを感光性基板に投影する投影系と；前記投影系に対して前記マスク及び前記感光性基板を所定の走査露光方向に沿って相対的に移動させる移動手段と；前記マスクに形成される照明領域又は前記感光性基板に形成される前記投影系の露光視野におけるテレセントリシティに傾斜成分を付与する第 1 テレセントリシティ調整手段と；前記マスクに形成される照明領域又は前記感光性基板に形成される前記投影系の露光視野における前記光軸からの位置に応じたテレセントリシティを調整する第 2 テレセントリシティ調整手段と；を含み、前記第 1 及び第 2 テレセントリシティ調整手段は、前記照明光学系の一部の照明用反射部材をそれぞれ調整する構成としたものである。

【 0 0 2 0 】

また、請求項 1 4 に係る発明では、第 2 テレセントリシティ調整手段は、前記第 1 テレセントリシティ調整手段により調整される照明用反射部材を第 1 テレセントリシティ調整手段とは異なる方向に移動させる、あるいは前記第 1 テレセントリシティ調整手段により調整される照明用反射部材とは別の照明用反射型部材を移動させる構成としたものである。

【 0 0 2 1 】

また、請求項 1 5 に係る発明では、前記照明光学系は、前記光束を供給する光源手段と、前記マスク又は前記感光性基板での照明分布を均一にする反射型インテグレータと、前記光源手段と前記反射型インテグレータとの間に配置されて前記光源手段からの光束を前記反射型インテグレータへ導く導光光学系とを含む構成としたものである。

【 0 0 2 2 】

また、請求項 1 6 に係る発明では、前記投影系は、光軸に対して偏芯した露光視野を含み、前記照明光学系は、複数の照明用反射部材を用いて露光のための光

束を前記露光視野へ導くために、前記投影系の光軸に対して偏芯した前記マスク上の位置に照明領域を形成する構成としたものである。

#### 【0023】

また、請求項17に係る発明では、前記マスクに形成される照明領域での照明条件又は前記感光性基板に形成される前記投影系の露光視野での照明条件を変更する照明条件変更手段とをさらに配置し、前記第1テレセントリシティ及び前記第2テレセントリシティ調整手段は、前記照明条件変更手段による照明条件の変更に応じて各調整をそれぞれ行う構成としたものである。

#### 【0024】

また、請求項18に係る発明では、請求項11乃至請求項17に記載の露光装置を用いてマイクロデバイスを製造する方法において、前記照明光学系を用いて前記マスクを照明する工程と；前記投影系を用いて前記マスクのパターン像を前記感光性基板に露光する工程と；を含む構成としたものである。

#### 【0025】

##### 【発明の実施の形態】

以下、図1乃至図4を参照しながら本発明による実施の形態について説明する。図1は本発明による第1の実施の形態の概略的構成を示す図であり、図2は多光源形成光学系（オプティカルインテグレータ）としての反射素子群2の構成を示す正面図である。図3は反射型光学素子群2を構成する各反射素子E1の構成を示す図であり、図4は、図1に示した多光源像形成光学系（オプティカルインテグレータ）としての反射素子群2の作用を示す図である。

#### 【0026】

図1に示すように、200nm以下の波長を持つレーザ光を供給するレーザ光源等の光源手段から供給されるレーザ光（平行光束）は、多光源形成光学系（オプティカルインテグレータ）としての反射素子群2にほぼ垂直に入射する。なお、光源手段としては、例えば、193nmの波長を持つレーザ光を供給するArFエキシマレーザ、157nmの波長を持つレーザ光を供給するF2レーザ、10nm～15nmの波長を持つX線を放射するレーザプラズマX線源、あるいは10nm～15nmの波長を持つ放射光を供給するシンクロトロン発生装置等を用いることができる。

## 【 0 0 2 7 】

ここで、反射素子群 2 は、Y Z 平面に垂直な所定の第 1 の基準平面  $P_1$  に沿って多数の反射素子（光学素子）E が 2 次元的に稠密に配置されて構成されている。具体的には、図 2 に示すように、反射素子群 2 は、輪郭（外形）が円弧状に形成された反射曲面を持つ反射素子 E を多数有している。そして、この反射素子群 2 は、Z 方向に沿って多数配列された反射素子の列を Y 方向に沿って 5 列有している。そして、この 5 列の反射素子の列は、全体としてほぼ円形状となるように構成されている。

## 【 0 0 2 8 】

なお、反射素子 E の輪郭形状（円弧形状）は、後述する被照射面としての反射マスク 5 上に形成される円弧状の照明領域 I F の形状と相似である。各反射素子 E は、図 3 の（a）及び（b）に示すように、光軸  $A \times_E$  から偏心した所定の領域において所定の曲率半径  $R_E$  の反射曲面の 1 部を、輪郭（外形）が円弧状となるように切り出した形状を有しており、この円弧状反射素子 E の中心  $C_E$  は、光軸  $A \times_E$  からの高さ  $h_E$  の位置にある。従って、各反射素子 E の偏心した反射面  $RSE$  は、図 3 の（b）に示すように、所定の曲率半径  $R_E$  を有する偏心球面ミラーで構成される。なお、図 3 の（b）中の  $RS_E$  は、光源手段 1 から入射する光束を有効に反射させる反射素子 E の有効反射領域を示している。

## 【 0 0 2 9 】

よって、図 3 の（b）に示すように、反射素子 E の光軸  $A \times_E$  に沿って平行な方向に入射するレーザ光（平行光束）L は、反射素子 E の光軸  $A \times_E$  上の焦点位置  $F_E$  に集光されて光源像 I を形成する。なお、この時の反射素子 E の焦点距離  $f_E$  は、反射素子 E の反射曲面の頂点  $O_E$  と反射素子 E の反射曲面の焦点位置  $F_E$  との間の距離となり、反射素子 E の反射曲面の曲率半径  $R_E$  とすると、次式（1）の関係が成立している。

$$(1) \quad f_E = -R_E / 2$$

図 1 に戻って説明すると、反射素子群 2 にほぼ垂直に入射するレーザ光（平行光束）は、多数の反射素子 E の反射作用によって、円弧状に波面分割されて入射光束からずれた位置  $P_2$  に多数の反射素子 E の数に対応する光源像が形成される

。換言すれば、反射素子群 2 を構成する多数の反射素子 E の各光軸  $A \times_E$  に対して平行な方向からレーザ光が入射するものとする、各反射素子 E の反射集光作用により、各光軸  $A \times_E$  上に存在する焦点位置  $F_E$  を通る面  $P_2$  に光源像 I がそれぞれ形成される。多数の光源像 I が形成される面  $P_2$  には、実質的に、多数の 2 次光源が形成される。従って、反射素子群 2 は、多数の光源像 I を形成する光源像形成光学系、即ち多数の 2 次光源を形成する多光源形成光学系として機能を有している。

## 【 0 0 3 0 】

この多数の光源像 I からの光束は、コンデンサー光学系としての光軸  $A \times_C$  を有するコンデンサー反射鏡 3 に入射する。このコンデンサー反射鏡 3 は、光軸  $A \times_C$  から離れた位置に有効反射面を有する 1 枚の球面ミラーで構成され、この球面ミラーは、所定の曲率半径  $R_C$  を有している。コンデンサー反射鏡 3 の光軸  $A \times_C$  は、光学素子群 2 により多数の光源像 I が形成される中心位置（光軸  $A \times_C$  と光源像 I が形成される面  $P_2$  とが交差する位置）を通る。但し、コンデンサー反射鏡 3 の焦点位置は、この光軸  $A \times_C$  上に存在する。

## 【 0 0 3 1 】

なお、コンデンサー反射鏡 3 の光軸  $A \times_C$  は、光学素子群 2 を構成する多数の光学素子  $E_1$  の各光軸  $A \times_{E1}$  と平行である。さて、多数の光源像 I からの各光束は、コンデンサー反射鏡 3 によりそれぞれ反射集光された後、偏向ミラーとしての平面鏡 4 を介して被照射面としての反射型マスク 5 を円弧状に重疊的に照明する。図 4 は図 1 の矢印 A で示す方向、即ち反射型マスク 5 の裏面から見たときに、反射型マスク 5 上に形成される円弧状の照明領域 I F の様子を示しており、円弧状の照明領域 I F の曲率中心  $O_{IF}$  は図 1 に示す投影系の光軸  $A \times_P$  上に存在する。また、仮に図 1 の平面ミラー 4 を除去した場合には、照明領域 I F は図 1 の被照射面 I P の位置に形成され、この時の照明領域 I F の曲率中心  $O_{IF}$  は、コンデンサー光学系 3 の光軸  $A \times_C$  上に存在する。

## 【 0 0 3 2 】

従って、図 1 に示す例では、コンデンサー光学系 3 の光軸  $A \times_C$  が平面ミラー 4 によって  $90^\circ$  偏向されていないが、図 1 に示す平面ミラー 4 の仮想の反射面

4aにてコンデンサー光学系3の光軸 $Ax_C$ を $90^\circ$ 偏向させれば、コンデンサー光学系3の光軸 $Ax_C$ と投影系6の光軸 $Ax_P$ とは、反射マスク5上では同軸となる。このため、これらの光軸( $Ax_C$ 、 $Ax_P$ )は光学的に同軸であると言える。よって、各光軸( $Ax_C$ 、 $Ax_P$ )は円弧状の照明領域IFの曲率中心 $O_{IF}$ を光学的に通るようにコンデンサー光学系3と投影系6とは配置されている。

## 【0033】

さて、反射型マスク5の表面には、所定の回路パターンが形成されており、この反射型マスク5は、XY平面内に沿って2次元的に移動可能なマスクステージMSに保持されている。この反射型マスク5を反射した光は、投影系6を介して感光性基板としてのレジストが塗布されたウエハW上に結像され、ここには、円弧状の反射マスク5のパターン像が投影転写される。ウエハ7は、XY平面内に沿って2次元的に移動可能な基板ステージWSに保持されている。

## 【0034】

ここで、マスクステージMSは第1駆動系 $D_1$ を介してXY平面内に沿って2次元的に移動し、基板ステージWSは第2駆動系 $D_2$ を介してXY平面内に沿って2次元的に移動する。この2つの駆動系( $D_1$ 、 $D_2$ )は、制御系8によって各駆動量が制御されている。従って、制御系8は、2つの駆動系( $D_1$ 、 $D_2$ )を介してマスクステージMS及び基板ステージWSを互いに反対方向(矢印方向)へ移動させることによって、反射型マスク5上に形成されているパターン全体が投影系6を介してウエハW上に走査露光される。これにより、半導体デバイスを製造する光リソグラフィ工程での良好なる回路パターンがウエハ7上に転写されるため、良好なる半導体デバイスを製造することができる。

## 【0035】

光軸 $Ax_P$ を有する投影系6は、その光軸 $Ax_C$ から離れた位置に有効反射面を持つ4枚の非球面ミラー(6a~6d)を有するオフアクシス型の縮小系で構成されている。そして、投影系6は物体面(マスク5)及び像面(ウエハ7)の双方において光軸 $Ax_C$ から離れた位置に円弧状の視野を有している。なお、投影系6は物体面(マスク5)での円弧状の視野は、照明系によってマスク5に形成される円弧状の照明領域IFに見合う大きさを有している。

## 【0036】

第1、第3及び第4の非球面ミラー（6a、6c、6d）は、凹面型の非球面鏡で構成され、第2の非球面ミラー6bは、凸面型の非球面鏡で構成されている。投影系6の瞳は第3の非球面ミラー6cの反射表面上に存在し、この瞳の位置 $P_S$ には開口絞り等が設けられている。

## 【0037】

さて、次に、図1に示した例の光学素子群2の作用について、図5を参照しながら説明する。図5は、図1に示した反射マスク5を照明する照明装置の部分を拡大して示した図であり、図5では、説明を分かりやすくするために、平面ミラー4を省略し、また、反射素子群2が3つの反射素子（ $E_a \sim E_c$ ）で構成されているものとする。

## 【0038】

図1にて説明したように、反射素子群2は、所定の基準平面 $P_1$ に沿って配置された3つの反射素子（ $E_a \sim E_c$ ）を含み、その所定の基準平面 $P_1$ は、各反射素子（ $E_a \sim E_c$ ）の焦点位置（曲率中心の位置） $P_2$ を通る平面（YZ平面）と平行である。図5に示すように、反射素子群2中の反射素子 $E_a$ に入射したレーザ光（平行光束）は、反射素子 $E_a$ の反射面の輪郭形状に対応するように円弧状の光束に波面分割されて、その波面分割された円弧状の光束（実線で示す光束）は、反射素子 $E_a$ の反射面の集光作用によって光源像 $I_a$ を形成する。その後、その光源像 $I_a$ からの光束はコンデンサー光学系3の反射面によって集光されて、反射型マスク5は斜め方向から円弧状に照明される。なお、図5の紙面方向が反射型マスク5上に形成される円弧状の照明領域の幅方向となる。

## 【0039】

また、反射素子群2中の反射素子 $E_c$ に入射したレーザ光（平行光束）は、光学素子 $E_c$ の反射面の輪郭形状に対応するように円弧状の光束に波面分割されて、その波面分割された円弧状の光束（実線で示す光束）は、反射素子 $E_c$ の反射面の集光作用によって光源像 $I_c$ を形成する。その後、その光源像 $I_c$ からの光束はコンデンサー光学系3の反射面によって集光されて、反射型マスク5は、実線で示した光束により形成される円弧状の照明領域と重畳するように円弧状に照

明される。

#### 【 0 0 4 0 】

このように、反射素子群 2 中の各反射素子を通過した光が反射型マスク 5 上に円弧状に重疊的に照明するため、均一な照明が達成できる。なお、図 1 に示すように、反射素子群 2 中の各反射素子により形成される光源像が投影系 6 の瞳の位置  $P_S$ （投影系 6 の入射瞳）に再結像されるため、所謂ケーラー照明が達成される。

#### 【 0 0 4 1 】

以上の第 1 の実施の形態で示すように、マスク 5 のパターンを感光性基板 7 に露光するために、照明装置及び投影系の全てを反射型部材及び反射型素子で構成したとしても、実質的にケーラー照明の条件を保ちながら、マスク上に照度が均一な円弧状の照明領域を効率良く形成することができる。なお、コンデンサー光学系 3 の射影関係を正射影にすることにより、方向によらず均一な開口数  $NA$  のもとで反射型マスク 5 を照明することができる。

#### 【 0 0 4 2 】

また、図 2 に示されるように、反射素子群 2 の外形（輪郭）がほぼ円形状に多数の反射素子  $E$  が稠密に配列されることにより、位置  $P_2$  に形成される多数の光源像により形成される 2 次光源の外形（輪郭）がほぼ円形状となる。従って、コンデンサー光学系 3 の射影関係を正射影にする事及び 2 次光源の外形（輪郭）にする事を同時に行うことにより、マスク 5 上に形成される照明領域  $IF$  内での空間コヒーレンシーが場所及び方向によらず均一にすることができる。

#### 【 0 0 4 3 】

さらに、反射素子群 2 中の各反射素子の反射面の形状は、射影関係をコンデンサー光学系 3 と同一となるように構成することにより、反射素子群 2 及びコンデンサー光学系 3 にて歪曲収差を発生させることなく、反射型マスク 5 上に形成される円弧状照明領域での照度をより一層均一にすることができる。以上においては、反射素子群 2 を構成する各反射素子  $E$  及びコンデンサー光学系 3 を構成するコンデンサーミラーを共に偏心した球面状の反射面とした例を述べたが、これらを非球面とすることもできる。



## 【 0 0 4 4 】

そこで、図 1 に示した露光装置中の反射素子群 2 及びコンデンサー光学系 3 の具体的な数値を挙げる。以下に掲げる数値例では、反射素子群 2 を構成する各反射素子 E 及びコンデンサー光学系 3 を構成するコンデンサーミラーが共に非球面で構成された場合を示している。図 4 に示すように、反射マスク 5 上に形成される円弧状の照明領域 I F の円弧の曲率  $R_{IF}$  を 9 6 mm、照明領域 I F の円弧の張る角  $\alpha_{IF}$  を  $60^\circ$ 、円弧状の照明領域 I F の両端間の距離  $L_{IF}$  を 9 6 mm、照明領域 I F の円弧の幅  $t_{IF}$  を 6 mm、反射マスク 5 上での照明開口数 NA を 0. 0 1 5、反射マスク 5 の法線に対する照明光の主光線の傾きを 3 0 m r a d（換言すれば、投影系 6 の入射瞳位置が反射マスク 5 から 3 1 1 9 mmにあることと同じ。）、レーザ光源から供給される光束径  $\phi$  を 4 2 mm程度とする。

## 【 0 0 4 5 】

また、図 6 の (a) に示すように、反射素子群 2 中の反射素子 E の反射曲面（非球面）を  $AS_E$  とし、反射素子 E の反射曲面の頂点  $O_E$  での基準球面を  $S_E$ 、基準球面の曲率中心を  $O_{RE}$ 、反射素子 E の反射曲面の頂点  $O_E$  での接平面と垂直かつ反射素子 E の反射曲面の頂点  $O_E$  を通る方向を X 軸（反射素子 E の光軸  $Ax_E$  を X 軸）とし、反射素子 E の反射曲面の頂点  $O_E$  での接平面と平行かつ反射素子 E の反射曲面の頂点  $O_E$  を通る方向を Y 軸、X 軸と Y 軸とが交差する反射素子 E の反射曲面の頂点  $O_E$  を原点とする XY 座標を考える。

## 【 0 0 4 6 】

ここで、図 6 の (a) は反射素子群 2 中の反射素子 E の反射曲面の断面図を示しており、図 6 の (b) は反射素子群 2 中の反射素子 E の正面図を示している。反射素子 E の反射曲面の頂点  $O_E$  での接平面から反射素子 E の反射表面（非球面）までの X 軸（光軸  $Ax_E$ ）の方向に沿った距離を  $x$ 、X 軸（光軸  $Ax_E$ ）から反射素子 E の反射表面（非球面）までの Y 軸の方向に沿った距離を  $y$ 、反射素子 E の反射曲面の頂点  $O_E$  を通る基準球面  $S_E$  の曲率半径（反射素子 E の基準曲率半径）を  $R_E$ 、非球面係数を  $C_2$ 、 $C_4$ 、 $C_6$ 、 $C_8$  及び  $C_{10}$  とするとき、反射素子群 2 を構成する各反射素子 E の反射面は、以下の非球面式で表現される非球面で構成される。

$$x(y) = (y^2 / R_E) / [1 + (1 - y^2 / R_E^2)^{0.5}] + C_2 y^2 + C_4 y^4 + C_6 y^6 + C_8 y^8 + C_{10} y^{10}$$

$$R_E = -183.3211$$

$$C_2 = -5.37852 \times 10^{-4}$$

$$C_4 = -4.67282 \times 10^{-8}$$

$$C_6 = -2.11339 \times 10^{-10}$$

$$C_8 = 5.71431 \times 10^{-12}$$

$$C_{10} = -5.18051 \times 10^{-14}$$

反射素子群2を構成する各反射素子Eは、図6の(a)に示すように、ミラーの断面方向では、光軸  $A \times_E$  からの高さ  $y_1$  と光軸  $A \times_E$  からの高さ  $y_2$  とで挟まれた反射断面形状を有し、図6の(b)に示すように正面方向では、円弧の開き角  $\alpha_E$  が  $60^\circ$  で円弧の両端間の長さが  $5.25\text{ mm}$  となる円弧状の非球面偏心ミラーで構成されている。なお、光軸  $A \times_E$  からの高さ  $y_1$  は  $5.085\text{ mm}$  であり、光軸  $A \times_E$  からの高さ  $y_2$  は  $5.415\text{ mm}$  である。

#### 【0047】

この場合、反射素子Eにより形成される光源像Iは、反射素子Eの光軸  $A \times_E$  の方向では、反射素子Eの反射曲面の頂点  $O_E$  から  $76.56\text{ mm}$  ( $=x_I$ ) だけ離れた位置にあり、反射素子Eの光軸  $A \times_E$  と直交する方向では、反射素子Eの円弧の中心径から  $5.25\text{ mm}$  だけ離れた光軸  $A \times_E$  の位置にある。なお、反射素子Eの光軸  $A \times_E$  と直交する方向での光源像Iの位置は、反射素子Eの円弧の外径から  $5.085\text{ mm}$  ( $=y_1$ ) だけ離れた光軸  $A \times_E$  の位置にあり、また、反射素子Eの円弧の外径から  $5.415\text{ mm}$  ( $=y_2$ ) だけ離れた光軸  $A \times_E$  の位置にある。

#### 【0048】

そして、図2に示すように、以上の寸法の有する多数の偏心非球面型の反射素子Eを配列することにより良好なる反射素子群2を構成することができる。次に、以上の寸法の有する多数の偏心非球面型を有する反射素子Eを用いた場合におけるコンデンサー光学系としてのコンデンサーミラー3の具体的な数値例について挙げる。

## 【0049】

図7に示すように、コンデンサーミラー3の反射曲面（非球面）を $AS_C$ とし、コンデンサーミラー3の反射曲面の頂点 $O_C$ での基準球面を $S_C$ 、基準球面の曲率中心を $O_{RC}$ 、コンデンサーミラー3の反射曲面の頂点 $O_C$ での接平面と垂直かつコンデンサーミラー3の反射曲面の頂点 $O_C$ を通る方向をX軸（コンデンサーミラー3の光軸 $Ax_C$ をX軸）とし、コンデンサーミラー3の反射曲面の頂点 $O_C$ での接平面と平行かつコンデンサーミラー3の反射曲面の頂点 $O_C$ を通る方向をY軸、X軸とY軸とが交差するコンデンサーミラー3の反射曲面の頂点 $O_C$ を原点とするXY座標を考える。

## 【0050】

ここで、図7はコンデンサーミラー3の反射曲面の断面図を示している。コンデンサーミラー3の反射曲面の頂点 $O_C$ での接平面からコンデンサーミラー3の反射表面（非球面）までのX軸（光軸 $Ax_C$ ）の方向に沿った距離を $x$ 、X軸（光軸 $Ax_C$ ）からコンデンサーミラー3の反射表面（非球面）までのY軸の方向に沿った距離を $y$ 、コンデンサーミラー3の反射曲面の頂点 $O_C$ を通る基準球面の曲率半径（コンデンサーミラー3の基準曲率半径）を $R_C$ 、非球面係数を $C_2$ 、 $C_4$ 、 $C_6$ 、 $C_8$ 及び $C_{10}$ とすると、コンデンサーミラー3の反射面は、以下の非球面式で表現される非球面で構成される。

$$x(y) = (y^2 / R_C) / \{ 1 + (1 - y^2 / R_C^2)^{0.5} \} + C_2 y^2 + C_4 y^4 + C_6 y^6 + C_8 y^8 + C_{10} y^{10}$$

$$R_C = -3518.74523$$

$$C_2 = -3.64753 \times 10^{-5}$$

$$C_4 = -1.71519 \times 10^{-11}$$

$$C_6 = 1.03873 \times 10^{-15}$$

$$C_8 = -3.84891 \times 10^{-20}$$

$$C_{10} = 5.12369 \times 10^{-25}$$

但し、コンデンサーミラー3の光軸 $Ax_C$ と直交する面 $P_2$ には、反射素子群2により形成される光源像Iが形成されており、この光源像Iが形成される面 $P_2$ は、コンデンサーミラー3の反射曲面の頂点 $O_C$ から光軸 $Ax_C$ に沿って20

09. 8 mm ( $x_{IC}$ ) だけ離れた位置にある。

【0051】

以上の数値例で示した偏心非球面型の反射面を持つ多数の反射素子Eで構成される反射素子群2と偏心非球面型のコンデンサーミラー3によって、照度分布及び空間的コヒーレンシーが均一な円弧状の被照射領域IFが形成される。このとき、図7に示すように、コンデンサーミラー3により形成される円弧状の被照射領域IFの幅方向での中心 $C_{IF}$ は、コンデンサーミラー3の光軸 $Ax_C$ の方向では、コンデンサーミラー3の反射曲面の頂点 $O_C$ から1400 mm ( $=x_M$ ) だけ離れた位置にあり、コンデンサーミラー3の光軸 $Ax_C$ の高さ方向では、その光軸 $Ax_C$ から96 ( $=y_{MC}$ ) の位置にある。

【0052】

以上の構成により、反射型マスク5上に照度及び空間コヒーレンシーが均一な照明領域IFを形成することができる。なお、光学素子群2を構成する各光学素子Eの焦点距離を $f_F$ とし、コンデンサー光学系3の焦点距離を $f_C$ とするととき、以下の式(2)の関係を満たすことが好ましい。

$$(2) \quad 0.01 < |f_F / f_C| < 0.5$$

この(2)式の上限を越えると、光学素子群2を構成する各光学素子に適切なパワーを持たせたときに、コンデンサー光学系の焦点距離が非常に短くなり過ぎる。このため、コンデンサー光学系にて収差が大きく発生するため、マスク5上に均一な円弧状の照明領域を形成することが困難となる。一方、(2)式の下限を越えると、光学素子群を構成する各光学素子に適切なパワーを持たせたときに、コンデンサー光学系の焦点距離が長くなり過ぎ、コンデンサー光学系自体が大きくなり過ぎ、装置をコンパクトに構成することが困難となる。

【0053】

因みに、前述の光学素子群2を構成する各光学素子E及びコンデンサーミラー3の数値例に従って、上記(2)式の対応値を挙げる。前述のように、光学素子群2を構成する各光学素子の曲率半径 $R_E$ は-183.3211 mmであるため、その光学素子Eの基準の焦点距離 $f_F$ は91.66055 mm ( $f_F = -R_E / 2$ )となる。また、コンデンサーミラー3の曲率半径 $R_C$ は-3518.74

523 mmであるため、その光学素子Eの基準の焦点距離 $f_C$ は1759.3726 mm ( $f_C = -R_c / 2$ )となる。従って、 $|f_F / f_C| = 0.052$ となり、上式で示した関係を満たしており、良好なる照明領域を保ちながら装置がコンパクトに構成されていることが理解できる。

## 【0054】

ところで、図1に示した実施の形態では、被照射物体としての反射マスク5又は感光性基板7での照明特性（照明分布、テレセントリシティ等）を良好とする必要がある。

## 【0055】

まず、図1及び図23を参照しながら被照射物体としての反射型マスク5又は感光性基板7の照明分布の調整の原理及び調整機構について説明する。尚、図1に示した光源手段1から正規分布状（ガウス分布状）の強度分布を持つ光束が供給されるものとする。

## 【0056】

ここで、図23は図1に示した実施の形態において反射型マスク5又は感光性基板7上に形成される円弧状の照明領域IFに形成される照度分布（又は光強度分布）の様子を示している。

## 【0057】

但し、図23において、 $I_N$ は照度（又は光強度）を示し、 $DI_1$ は走査方向（走査露光方向）を示し、また $ID_{a2}$ は非走査方向 $DI_2$ （走査方向 $DI_1$ と直交した方向）を示している。また、図23の（a）、（b）及び（c）において、 $ID_{a1}$ 、 $ID_{b1}$ 及び $ID_{c1}$ は走査方向 $DI_1$ における照度分布を示しており、 $ID_{a2}$ 、 $ID_{b2}$ 及び $ID_{c2}$ は非走査方向 $DI_2$ （走査方向 $DI_1$ と直交した方向）における照度分布を示している。なお、図23における走査方向 $DI_1$ は図1に示した例ではX方向に対応し、図23における非走査方向 $DI_2$ （走査方向 $DI_1$ と直交した方向）は図1に示した例ではY方向に対応する。

## 【0058】

図23の（b）に示すように反射型マスク5又は感光性基板7上に形成される円弧状の照明領域IFの非走査方向 $DI_2$ （走査方向 $DI_1$ と直交した方向）に

において、回転対称な照度分布  $ID_{b2}$  が発生している場合には、走査方向  $DI_1$  における照度分布  $ID_{b1}$  を補正するような傾斜照度成分（走査方向  $DI_1$  において照度分布  $ID_{b1}$  とは逆に傾斜した照度成分）を付与する。これによって回転対称な照度分布  $ID_{b2}$  を補正することができる。

【0059】

そこで、図1に示す実施の形態では、光源手段1の射出側での光束中心（照明光軸  $Ax_c$ ）と直交かつY方向と平行となる第1軸  $Ax_1$  を中心として、矢印方向T1に示すように光源手段1を所定量だけ傾斜させる。これにより、図23の（b）に示す回転対称な照度分布  $ID_{b2}$  は補正され、その結果、照度分布  $ID_{b2}$  は平坦となる。

【0060】

また、図23の（c）に示すように反射型マスク5又は感光性基板7上に形成される円弧状の照明領域IFの非走査方向  $DI_2$ （走査方向  $DI_1$  と直交した方向）において、傾斜成分を持つ照度分布  $ID_{c2}$  が発生している場合には、非走査方向  $DI_2$ （走査方向  $DI_1$  と直交した方向）における照度分布  $ID_{c2}$  を補正するような傾斜照度成分（非走査方向  $DI_2$  において照度分布  $ID_{c2}$  とは逆に傾斜した照度成分）を付与する。これによって傾斜成分を持つ照度分布  $ID_{c2}$  を補正することができる。

【0061】

そこで、図1に示す実施の形態では、光源手段1の射出側での光束中心（照明光軸  $Ax_c$ ）と直交かつZ方向と平行となる第2軸  $Ax_2$  を中心として、矢印方向T2に示すように光源手段1を所定量だけ傾斜させることにより、図23の（c）に示す回転対称な照度分布  $ID_{c2}$  は補正され、その結果、照度分布  $ID_{c2}$  は平坦となる。

【0062】

なお、図1に示す第1軸  $Ax_1$  及び第2軸  $Ax_2$  は互いに直交する関係を満たしていれば、第1軸  $Ax_1$  はY軸と平行となる任意の位置に、また第2軸  $Ax_2$  はX軸と平行となる任意の位置に設定にそれぞれ設定することができる。

【0063】

さて、次に、図 1 及び図 2 4 を参照しながら被照射物体としての反射型マスク 5 又は感光性基板 7 のテレセントリシティの調整の原理及び調整機構について説明する。

#### 【 0 0 6 4 】

ここで、図 2 4 は図 1 に示した実施の形態において反射型マスク 5 又は感光性基板 7 上に形成される円弧状の照明領域 I F に形成されるテレセントリシティ（照明光軸対する主光線の平行度又は被照射面に対する主光線の直交度）の様子を模式的に示している。すなわち、図 2 4 は理解を容易にするために、図 1 に示した実施の形態等を模式的に示しているが、図 2 4 では 2 次光源を規定する開口絞り 1 2 0 が図 1 に示す例及び後述する各例の反射型オプティカルインテグレータ 2 に対応し、光学部材 1 3 0 が図 1 に示す例及び後述する各例のコンデンサー反射鏡 3 に対応し、被照射面 1 4 0 が図 1 に示す例及び後述する各例の反射型マスク 5 又は感光性基板 7 に対応する。

#### 【 0 0 6 5 】

図 2 4 において（a）は光学部材 1 3 0 の光源側焦点位置 F が開口絞り 1 2 0 の中心に合致して完全にテレセントリック（テレセン）となる状態を示し、（b）は光学部材 1 3 0 の光源側焦点位置 F に対して開口絞り 1 2 0 の中心が光軸 A x と直交した方向に変位量  $\Delta 1$  だけ相対的に偏芯してテレセントリシティに傾斜成分（傾斜テレセン）が付与された状態を示し、（c）は光学部材 1 3 0 の光源側焦点位置と開口絞り 1 2 0 の中心とが光軸に沿って変位量  $\Delta 2$  だけ変位して光軸 A x からの位置に応じてテレセントリシティが等方的に変化する（倍率テレセンが発生している）状態を示している。

#### 【 0 0 6 6 】

図 2 4 の（b）に示すように反射型マスク 5 又は感光性基板 7 上に形成される円弧状の照明領域 I F において、テレセントリシティに傾斜成分（傾斜テレセン）が発生している場合には、光学部材 1 3 0 に対して開口絞り 1 2 0 を逆方向（光軸 A x と直交した方向に沿って下方）に変位量  $-\Delta 1$  だけ偏芯させて、逆方向に傾斜した傾斜テレセン成分を付与する。これによってテレセントリシティの傾斜成分を補正することができる。

## 【0067】

そこで、図1に示す実施の形態では、反射型オプティカルインテグレータ2を照明光軸 $Ax_c$ （X方向）と直交した面（YZ平面）に沿って所定量だけ移動させることにより、図24の（b）に示すようなテレセントリシティの傾斜成分は補正される。

## 【0068】

また、図24の（c）に示すように反射型マスク5又は感光性基板7上に形成される円弧状の照明領域IFにおいて、光軸からの位置に応じてテレセントリシティが等方的に変化する（倍率テレセンが発生している）場合には、光学部材130に対して開口絞り120を光軸Axに沿って逆方向（光軸Axに沿って左側方向）に変位量 $-\Delta 2$ だけ移動させて、光軸Axからの位置に応じて等方的に逆方向のテレセントリシティ（逆方向の倍率テレセン成分）を付与する。これによって光軸Axからの位置に応じて等方的に発生するテレセントリシティの変化を補正することができる。

## 【0069】

そこで、図1に示す実施の形態では、反射型オプティカルインテグレータ2を照明光軸 $Ax_c$ （X方向）に沿って所定量だけ移動させることにより、図24の（c）に示すような光軸 $Ax_c$ からの位置に応じて等方的に発生するテレセントリシティの変化は補正される。

## 【0070】

さて、次に、以下において、図1及び図25を参照しながら被照射物体としての感光性基板7での照明特性（照明分布、テレセントリシティ等）の調整フローについて説明する。

## （ステップ1）

まず、ステップ1では、マスクステージMSに均一な反射面を有する照明特性計測用マスクを載置して、感光性基板7の表面（投影系6の結像面）での光学特性を計測する。なお、露光工程後に照明特性を計測する場合には、マスクステージMS上に載置された露光用反射マスク5を上記照明特性計測用マスクに交換する。



## 【0071】

マスクステージMSにおける照明特性計測用マスクの設定が完了すると、制御系8は、駆動系 $D_2$ を介して基板ステージWSを移動させて、基板ステージWSの一端に設けられた照明特性計測用センサーISを投影系6の結像面（又は露光視野）に位置させる。そして、制御系8が駆動系 $D_2$ を介して基板ステージWSを投影系6の結像面（又は露光視野）内において2次元移動させることにより、照明特性計測用センサーISは、投影系6の結像面（又は露光視野）内での照明特性情報を2次元マトリックス状の検出することができる。投影系6の結像面（又は露光視野）内の各位置毎に得られる照明特性計測用センサーISからの出力信号は、制御系8に入力され、計測結果は、制御系8と電氣的に接続された不図示の表示装置によって投影系6の結像面（又は露光視野）内での照明特性情報（照度分布やテレセントリシティ等）が表示される。

## （ステップ2）

制御系8は、上記ステップ1において得られた計測結果に基づいて、現在の照明特性が許容できるか否かを所定の演算を行った上で判断する。もし、計測された照明特性が許容できる場合には、図25に示す調整工程のフローは完了し、マスクステージMS上に載置された照明特性計測用マスクを露光用反射マスク5に交換して、露光動作を開始する。

## 【0072】

一方、計測された照明特性が許容できない場合には、調整工程としてのステップ3は移行する。

## （ステップ3）

制御系8は、上記ステップ1において得られた計測結果に基づいて、照明特性の補正量を算出した上で、第1調整系（駆動系） $AD_1$ ～第4調整系（駆動系） $AD_4$ の少なくとも1つを駆動させて、例えば、照度分布の補正及びテレセントリシティの補正を行う。

## 【0073】

具体的には、第1調整系 $AD_1$ は、制御系8からの出力に基づいて、第1軸 $Ax_1$ を中心として、矢印方向T1に示すように光源手段1を傾斜させる。これに

より、基板 7 上に形成される円弧状照明領域  $I F$ （露光領域または投影系 6 の露光視野）における  $Y$  方向に沿った回転対称な照度分布  $I D_{b2}$  は補正され、照度分布  $I D_{b2}$  は平坦になる（図 2 3 の（b）を参照）。

【0 0 7 4】

また、第 2 調整系  $A D_2$  は、制御系 8 からの出力に基づいて、第 1 軸  $A x_1$  と直交する第 2 軸  $A x_2$  を中心として、矢印方向  $T 2$  に示すように光源手段 1 を傾斜させる。これにより、基板 7 上に形成される円弧状照明領域  $I F$ （露光領域または投影系 6 の露光視野）における  $Y$  方向に沿った傾斜成分を持つ照度分布  $I D_{c2}$  は補正され、照度分布  $I D_{c2}$  は平坦になる（図 2 3 の（c）を参照）。

【0 0 7 5】

また、第 3 調整系  $A D_3$  は、制御系 8 からの出力に基づいて、反射型オプティカルインテグレータ 2 を照明光軸  $A x_c$ （ $X$  方向）と直交した面（ $Y Z$  平面）に沿って移動（偏心）させる。これにより、テレセントリシティの傾斜成分（傾斜テレセン）は補正される（図 2 4 の（b）を参照）。

【0 0 7 6】

また、第 4 調整系  $A D_4$  は、制御系 8 からの出力に基づいて、反射型オプティカルインテグレータ 2 を照明光軸  $A x_c$ （ $X$  方向）に沿って移動させる。これにより、光軸からの位置に応じて等方的に発生するテレセントリシティの変化（倍率テレセン）は補正される（図 2 4 の（c）を参照）。

【0 0 7 7】

以上の第 1 調整系（駆動系） $A D_1$  ～第 4 調整系（駆動系） $A D_4$  の少なくとも 1 つを駆動させて、例えば、照度分布の補正及びテレセントリシティの補正が完了した後、再び、ステップ 1 へ戻り、投影系 6 の結像面（又は露光視野）内での照明特性を計測する。そして、ステップ 1 での投影系 6 の結像面（又は露光視野）内での照明特性の確認により、もし、計測された照明特性が許容できる場合には、図 2 5 に示す調整フローは完了する。その後、マスクステージ  $M S$  上に載置された照明特性計測用マスクを露光用反射マスク 5 に交換して、露光動作を開始する。

【0 0 7 8】

また、ステップ 1 での投影系 6 の結像面（又は露光視野）内での照明特性の確認により、もし、計測された照明特性が許容できない場合には、ステップ 3 は移行して、調整工程が実行される。そして、ステップ 1 での計測工程において、照明特性が許容できると判断される迄、ステップ 1 ～ステップ 3 の工程が繰り返えられる。

## 【 0 0 7 9 】

なお、図 2 5 に示す調整フローは、制御系 8 による自動制御に限らず、マニュアル的に実行しても良い。例えば、以上のステップ 3 では、制御系 8 が調整系としてのモータ等の駆動系 ( $AD_1 \sim AD_4$ ) を制御しているが、4 つの調整系 ( $AD_1 \sim AD_4$ ) を制御系 8 による制御とせずに、それら 4 つの調整系 ( $AD_1 \sim AD_4$ ) を作業者が調整できる機械的な又は電氣的な調整機構としても良い。この場合、ステップ 1 の計測結果に基づいて作業者が 4 つの調整系 ( $AD_1 \sim AD_4$ ) を介して照度分布の補正及びテレセントリシティの補正を行うことができる。

## 【 0 0 8 0 】

また、以上のステップ 1 での計測工程では、基板ステージ  $WS$  の一端に設けられた照明特性計測用センサー  $IS$  を用いて投影系 6 の結像面（又は露光視野）で照明特性を計測した例を説明したが、マスクステージ  $MS$  に一端に照明特性計測用センサー  $IS$  を設けて、この照明特性計測用センサー  $IS$  を用いて照明系 (1 ～ 4) の照明領域  $IF$  内の 2 次元的な照明特性を計測するようにしても良い。この計測においては、照明特性計測用マスクを不要とすることができる。

## 【 0 0 8 1 】

さて、次に、図 8、図 9、図 1 0 及び図 1 1 を参照しながら本発明による第 2 の実施の形態について説明する。以上の第 1 の実施の形態では、多光源形成光学系（オプティカルインテグレータ）を 1 つの反射素子群 2 のみで構成した例を示したが、第 2 の実施の形態では、多光源形成光学系（オプティカルインテグレータ）を 2 つの反射素子群 (2 0 a、2 0 b) で構成した例を示す。

## 【 0 0 8 2 】

図 8 は本発明による第 2 の実施の形態の概略的構成を示す図であり、図 9 は多

光源形成光学系（オプティカルインテグレータ）としての2つの反射素子群（20a、20b）の構成を示す正面図である。図10は第1の反射素子群20aを構成する各反射素子 $E_1$ の構成を示す図であり、図11は第2の反射素子群20bを構成する各反射素子 $E_2$ の構成を示す図である。図12は図8に示した多光源形成光学系（オプティカルインテグレータ）としての2つの反射素子群（20a、20b）の作用を示す図である。

## 【0083】

図8に示すように、光源手段としてのX線放射装置1は、10nm～15nmの波長を持つX線を放射するレーザプラズマX線源、10nm～15nmの波長を持つ放射光を供給するシンクロトロン発生装置等である。X線放射装置1からの供給される放射光（X線）は、多光源形成光学系（オプティカルインテグレータ）2に向け放射される。

## 【0084】

ここで、多光源形成光学系（オプティカルインテグレータ）2は、第1の反射素子群20aと第2の反射素子群20bとで構成されている。まず、第1の反射素子群20aについて説明する。第1の反射素子群20aは、YZ平面に垂直な所定の基準平面 $P_a$ に沿って多数の第1の反射素子（光学素子） $E_1$ が2次元的に稠密に配置されて構成されている。具体的には、図9の（a）に示すように、第1の反射素子群20aは、輪郭（外形）が円弧状に形成された反射曲面を持つ反射素子 $E_1$ を多数有している。そして、この第1の反射素子群20aは、Z方向に沿って多数配列された第1の反射素子の列をY方向に沿って5列有している。そして、この5列の第1の反射素子の列は、全体としてほぼ円形状となるように構成されている。

## 【0085】

なお、反射素子 $E$ の輪郭形状（円弧形状）は、後述する被照射面としての反射マスク5上に形成される円弧状の照明領域IFの形状と相似である。各反射素子 $E_1$ は、図10の（a）及び（b）に示すように、光軸 $A \times_{E1}$ から偏心した所定の領域において所定の曲率半径 $R_{E1}$ の反射曲面の1部を、輪郭（外形）が円弧状となるように切り出した形状を有しており、この円弧状反射素子 $E_1$ の中心 $C_{E1}$

は、光軸  $A \times_{E1}$  からの高さ  $h_E$  の位置にある。従って、各反射素子  $E_1$  の偏心した反射面は、図 10 の (b) に示すように、所定の曲率半径  $R_{E1}$  を有する偏心球面ミラーで構成される。

【0086】

よって、図 10 の (b) に示すように、反射素子  $E_1$  の光軸  $A \times_{E1}$  に対して所定の斜め方向から入射する放射光 (X線)  $L$  は、反射素子  $E_1$  の焦点位置  $F_{E1}$  と垂直な面  $P_{F0}$  (光軸  $A \times_{E1}$  から離れた位置) に集光されて光源像  $I$  を形成する。なお、この時の反射素子  $E_1$  の焦点距離  $f_{E1}$  は、反射素子  $E_1$  の反射曲面の頂点  $O_{E1}$  と反射素子  $E_1$  の反射曲面の焦点位置  $F_{E1}$  との間の距離となり、反射素子  $E_1$  の反射曲面の曲率半径  $R_{E1}$  とすると、次式 (3) の関係が成立している。

$$(3) \quad f_{E1} = -R_{E1} / 2$$

図 8 に戻って説明すると、第 1 の反射素子群 20a に所定の方向から斜入射する放射光 (X線) は、多数の反射素子  $E_1$  の反射作用によって、円弧状に波面分割されて入射光束からずれた位置  $P_b$  (第 2 反射素子群 20b を構成する各反射素子の表面の位置) に多数の反射素子  $E_1$  の数に対応する光源像  $I$  が形成される。換言すれば、第 1 の反射素子群 20a を構成する多数の反射素子  $E_1$  の各光軸  $A \times_{E1}$  に対して斜め方向から放射光  $L$  が入射するものとする、各反射素子  $E_1$  の反射集光作用により、各光軸  $A \times_E$  上に存在する焦点位置  $F_{E1}$  を通る面  $P_b$  に光源像  $I$  がそれぞれ形成される。多数の光源像  $I$  が形成される面  $P_b$  (図 10 の  $P_{F0}$ ) には、実質的に、多数の 2 次光源が形成される。

【0087】

この多数の光源像  $I$  が形成される面  $P_b$  には、図 9 の (b) に示されるように、第 2 の反射素子群 20b が配置されている。ここで、放射光源装置 1 から供給される放射光は平行光束に加えて、ある範囲での発散角を持つ光束が放射される。このため、第 1 の反射素子群 20a により面  $P_b$  には、ある大きさを持つ光源像  $I$  が形成される。従って、この第 2 の反射素子群 20b は、放射光源装置 1 から供給される放射光を有効に利用するために、フィールドミラー群として機能する。すなわち、第 2 の反射素子群 20b を構成する多数の第 2 の反射素子  $E_2$  は、それぞれフィールドミラーとしての機能を有している。

## 【 0 0 8 8 】

第 2 反射素子群 2 0 b の構成について説明すると、第 2 の反射素子群 2 0 b は、Y Z 平面に垂直な所定の第 2 の基準平面（多数の光源像 I が形成される面  $P_b$ ）に沿って多数の第 2 の反射素子（光学素子） $E_2$  が 2 次元的に稠密に配置されて構成されている。具体的には、図 9 の（b）に示すように、第 2 の反射素子群 2 0 b は、輪郭（外形）が長方形状に形成された反射曲面を持つ反射素子  $E_2$  を多数有している。そして、この第 2 の反射素子群 2 0 b は、Z 方向に沿って多数配列された第 2 の反射素子の列を Y 方向に沿って 5 列有している。そして、この 5 列の第 2 の反射素子の列は、全体としてほぼ円形状となるように構成されている。

## 【 0 0 8 9 】

すなわち、第 2 の反射素子群 2 0 b を構成する多数の第 2 の反射素子  $E_2$  は、第 1 の反射素子群 2 0 a を構成する多数の第 1 の反射素子  $E_1$  と 1 対 1 となるように互いに対向してそれぞれ配列されている。ここで、各反射素子  $E_2$  は、図 1 1 の（a）及び（b）に示すように、光軸  $A \times_{E_2}$  を含む所定の領域において所定の曲率半径  $R_{E_2}$  の反射曲面の 1 部を、輪郭（外形）が長方形状となるように切り出した形状を有しており、この長方形状反射素子  $E_2$  の中心  $C_{E_2}$  は、この反射素子  $E_2$  の光軸  $A \times_{E_2}$  と一致している。従って、各反射素子  $E_2$  の反射面は、図 1 1 の（a）及び（b）に示すように、所定の曲率半径  $R_{E_2}$  を有する同心球面ミラーで構成される。

## 【 0 0 9 0 】

なお、第 1 及び第 2 の反射素子群との 2 つの反射素子群とによって、多数の光源像 I を形成する光源像形成光学系、即ち多数の 2 次光源を形成する多光源形成光学系として機能が得られる。第 2 の反射素子群 2 0 a によって反射された多数の光源像 I からの光束は、コンデンサー光学系としての光軸  $A \times_c$  を有するコンデンサー反射鏡 3 に入射する。このコンデンサー反射鏡 3 は、光軸  $A \times_c$  に対して偏心した 1 枚の偏心球面ミラーで構成され、この偏心球面ミラーは、所定の曲率半径  $R_c$  を有している。このコンデンサー反射鏡 3 の焦点位置は、第 2 の光学素子群 2 0 a により多数の光源像 I が形成される 2 次光源面  $P_2$  と一致しており

、コンデンサー反射鏡 3 の曲率中心  $O_c$  は、第 2 の反射素子群上に形成される多数の光源像 I の中心位置（光軸  $Ax_c$  と光源像 I が形成される面  $P_2$  とが交差する位置）または光学素子群 2 の中心に存在する。

【0091】

なお、コンデンサー反射鏡 3 の光軸  $Ax_c$  は、第 1 の光学素子群 20a を構成する多数の光学素子  $E_1$  の各光軸  $Ax_{E1}$  と平行であるが、第 2 の光学素子群 20b を構成する多数の光学素子  $E_2$  の各光軸  $Ax_{E2}$  と平行でない。つまり、第 2 の光学素子群 20b を構成する多数の光学素子  $E_2$  の各光軸  $Ax_{E2}$  は、斜入射した光束があたかも垂直入射したから如く光線の入射角の半分だけ傾いている。

【0092】

さて、第 2 の反射素子群 20a によって反射された多数の光源像 I からの各光束は、コンデンサー反射鏡 3 によりそれぞれ反射集光された後、偏向ミラーとしての平面鏡 4 を介して被照射面としての反射型マスク 5 を円弧状に重疊的に照明する。図 4 は図 8 の矢印 A で示す方向、即ち反射型マスク 5 の裏面から見たときに、反射型マスク 5 上に形成される円弧状の照明領域 IF の様子を示しており、円弧状の照明領域 IF の曲率中心  $O_{IF}$  は図 1 に示す投影系の光軸  $Ax_p$  上に存在する。また、仮に図 8 の平面ミラー 4 を除去した場合には、照射領域 IF は図 8 の被照射面 IP の位置に形成され、この時の照明領域 IF の曲率中心  $O_{IF}$  は、コンデンサー光学系 3 の光軸  $Ax_c$  上に存在する。

【0093】

従って、図 8 に示す例では、コンデンサー光学系 3 の光軸  $Ax_c$  が平面ミラー 4 によって  $90^\circ$  偏向されていないが、図 8 に示す平面ミラー 4 の仮想の反射面 4a にてコンデンサー光学系 3 の光軸  $Ax_c$  を  $90^\circ$  偏向させれば、コンデンサー光学系 3 の光軸  $Ax_c$  と投影系 6 の光軸  $Ax_p$  とは、反射マスク 5 上では同軸となる。このため、これらの光軸 ( $Ax_c$ 、 $Ax_p$ ) は光学的に同軸であると言える。よって、各光軸 ( $Ax_c$ 、 $Ax_p$ ) は円弧状の照明領域 IF の曲率中心  $O_{IF}$  を光学的に通るようにコンデンサー光学系 3 と投影系 6 とは配置されている。

【0094】

さて、反射型マスク 5 の表面には、所定の回路パターンが形成されており、こ

の反射型マスク5は、XY平面内に沿って2次元的に移動可能なマスクステージMSに保持されている。この反射型マスク5を反射した光は、投影系6を介して感光性基板としてのレジストが塗布されたウエハ7上に結像され、ここには、円弧状の反射マスク5のパターン像が投影転写される。ウエハ7は、XY平面内に沿って2次元的に移動可能な基板ステージWSに保持されている。

#### 【0095】

ここで、マスクステージMSは第1駆動系 $D_1$ を介してXY平面内に沿って2次元的に移動し、基板ステージWSは第2駆動系 $D_2$ を介してXY平面内に沿って2次元的に移動する。この2つの駆動系( $D_1$ 、 $D_2$ )は、制御系8によって各駆動量が制御されている。従って、制御系8は、2つの駆動系( $D_1$ 、 $D_2$ )を介してマスクステージMS及び基板ステージWSを互いに反対方向(矢印方向)へ移動させることによって、反射型マスク5上に形成されているパターン全体が投影系6を介してウエハ7上に走査露光される。これにより、半導体デバイスを製造する光リソグラフィ工程での良好なる回路パターンがウエハ7上に転写されるため、良好なる半導体デバイスを製造することができる。

#### 【0096】

光軸 $A \times_P$ を有する投影系6は、第1の実施の形態で説明したように、その光軸 $A \times_C$ から離れた位置に有効反射面を持つ4枚の非球面ミラー(6a~6d)を有するオスアクシス型の縮小系で構成されている。第1、第3及び第4の非球面ミラー(6a、6c、6d)は、凹面型の非球面鏡で構成され、第2の非球面ミラー6bは、凸面型の非球面鏡で構成されている。投影系6の瞳は第3の非球面ミラー6cの反射表面上に存在し、この瞳の位置 $P_S$ には開口絞り等が設けられている。

#### 【0097】

さて、次に、図8に示した例の第1及び第2反射素子群(20a、20b)の作用について、図12を参照しながら説明する。図12は、図8に示した反射マスク5を照明する照明装置の部分を拡大して示した図であり、図12では、説明を分かりやすくするために、平面ミラー4を省略し、また、第1の反射素子群20aが2つの反射素子( $E_{a1}$ 、 $E_{b1}$ )で構成され、第2の反射素子群20bが2



つの反射素子 ( $E_{a2}$ 、 $E_{b2}$ ) で構成されているものとする。

【0098】

第1の反射素子群20aは、所定の第1の基準平面P1に沿って配置された2つの第1の反射素子 ( $E_{a1}$ 、 $E_{b1}$ ) を含み、その所定の基準平面P<sub>a</sub>は、被照射面としての反射マスク5と光学的に共役な位置、またはその共役な位置の近傍にある。また、第2の反射素子群20bは、所定の第2の基準平面P<sub>b</sub>に沿って配置された2つの第1の反射素子 ( $E_{a2}$ 、 $E_{b2}$ ) を含み、その所定の基準平面P<sub>b</sub>は、投影系6の瞳と光学的に共役な位置、またはその共役な位置の近傍にある。

【0099】

図12に示すように、第1反射素子群20a中の反射素子 $E_{a1}$ にある方向から入射する実線で示す放射光(X線)は、反射素子 $E_{a1}$ の反射面の輪郭形状に対応するように円弧状の光束に波面分割されて、その波面分割された円弧状の光束(実線で示す光束)は、反射素子 $E_{a1}$ の反射面の集光作用によって第2反射素子群20b中の反射素子 $E_{a2}$ 上の一端に光源像 $I_1$ を形成する。

【0100】

また、第1反射素子群20a中の反射素子 $E_{a1}$ に別の方向から入射する点線で示す放射光(X線)は、反射素子 $E_{a1}$ の反射面の輪郭形状に対応するように円弧状の光束に波面分割されて、その波面分割された円弧状の光束(点線で示す光束)は、反射素子 $E_{a1}$ の反射面の集光作用によって第2反射素子群20b中の反射素子 $E_{a2}$ 上の他端に光源像 $I_2$ を形成する。

【0101】

従って、第1反射素子群20a中の反射素子 $E_{a1}$ に実線及び点線で示す角度範囲の放射光が入射すると、第2反射素子群20b中の反射素子 $E_{a2}$ 上には光源像 $I_1$ と光源像 $I_2$ との間を結んだ大きさの光源像が形成される。その後、これら2つの光源像( $I_1$ 、 $I_2$ )からの光束は、第2反射素子群20b中の反射素子 $E_{a2}$ の反射集光作用(フィールドミラーの作用)によって集光され、さらに、コンデンサー光学系3の反射面の反射集光作用によって集光されて、反射型マスク5を2方向から重畳するように円弧照明される。なお、図12の紙面方向が反射型マスク5上に形成される円弧状の照明領域の幅方向となる。

## 【 0 1 0 2 】

また、第 1 反射素子群 2 0 a 中の反射素子  $E_{b1}$  及び第 2 反射素子群 2 0 b 中の反射素子  $E_{b2}$  による光学作用は、前述した第 1 反射素子群 2 0 a 中の反射素子  $E_{a1}$  及び第 2 反射素子群 2 0 b 中の反射素子  $E_{a2}$  による光学作用と同じであるため説明は省略する。このように、2 つの反射素子群 (2 0 a、2 0 b) によって形成された多数の光源像からの光が反射型マスク 5 上を円弧状に重畳的に照明するため、効率良く均一な照明が達成できる。しかも、第 2 反射素子群 2 0 b 中の各反射素子  $E$  の作用 (フィールドミラーの作用) によって、大きさを持つ光源像からの光束を効率良く集光させているため、コンデンサー光学系 3 の大きさをコンパクトにすることができる。

## 【 0 1 0 3 】

ところで、図 8 に示した第 2 実施の形態では、被照射物体としての反射マスク 5 又は感光性基板 7 での照明特性 (照明分布、テレセントリシティ等) を良好とするための調整機構について説明する。尚、図 8 に示した光源手段 1 から正規分布状 (ガウス分布状) の強度分布を持つ光束が供給されるものとする。

## 【 0 1 0 4 】

まず、基板ステージ  $WS$  の一端に設けられた照明特性計測用センサー  $IS$  は、計測された投影系 6 の結像面 (又は露光視野) 内での照明特性情報を検出する。その後、制御系 8 は、照明特性計測用センサー  $IS$  での計測結果に基づいて現在の照明特性が許容できるか否かを所定の演算を行った上で判断する。もし、計測された照明特性が許容できない場合には、制御系 8 は、上記計測結果に基づいて、照明特性の補正量を算出した上で、第 1 調整系 (駆動系)  $AD_1$  ~ 第 4 調整系 (駆動系)  $AD_4$  の少なくとも 1 つを駆動させて、例えば、照度分布の補正及びテレセントリシティの補正を行う。

## 【 0 1 0 5 】

ここで、第 1 調整系  $AD_1$  は、制御系 8 からの出力に基づいて、 $Y$  軸に平行な所定の第 3 軸  $Ax_3$  を中心として、矢印方向  $T_3$  に示すように光源手段 1 を所定量だけ傾斜させる。これにより、基板 7 上に形成される円弧状照明領域 (露光領域または投影系 6 の露光視野)  $IF$  における  $Y$  方向に沿った回転対称な照度分布

$ID_{b2}$ は補正され、照度分布  $ID_{b2}$ は平坦になる（図23の（b）を参照）。

【0106】

また、第2調整系  $AD_2$  は、制御系8からの出力に基づいて、上記第3軸  $Ax_3$  と直交した第4軸  $Ax_4$ （Z軸に平行な軸）を中心として、矢印方向  $T_4$  に示すように光源手段1を所定量だけ傾斜させる。これにより、基板7上に形成される円弧状照明領域（露光領域または投影系6の露光視野） $IF$ におけるY方向に沿った傾斜成分を持つ照度分布  $ID_{c2}$ は補正され、照度分布  $ID_{c2}$ は平坦になる（図23の（c）を参照）。

【0107】

また、第3調整系  $AD_3$  は、制御系8からの出力に基づいて、反射型オプティカルインテグレータ2としての2つの反射素子群（20a、20b）を光束中心照明光軸  $Ax_c$ （X軸）と直交した面（YZ平面）に沿って一体的に所定量だけ移動（偏心）させる。これにより、テレセントリシティの傾斜成分（傾斜テレセン）は補正される（図24の（b）を参照）。

【0108】

また、第4調整系  $AD_4$  は、制御系8からの出力に基づいて、反射型オプティカルインテグレータ2としての2つの反射素子群（20a、20b）を照明光軸  $Ax_c$  に沿った方向（X方向）に一体的に所定量だけ移動させる。これにより、光軸からの位置に応じて等方的に発生するテレセントリシティの変化（倍率テレセン）は補正される（図24の（c）を参照）。

【0109】

なお、図8に示す第3軸  $Ax_3$  及び第4軸  $Ax_4$  は互いに直交する関係を満たしていれば、第3軸  $Ax_3$  はY軸と平行となる任意の位置に、また第4軸  $Ax_4$  はX軸と平行となる任意の位置に設定にそれぞれ設定することができる。

【0110】

以上のように、第1調整系（駆動系） $AD_1$ ～第4調整系（駆動系） $AD_4$  の少なくとも1つを駆動させることにより、基板上に形成される円弧状の露光視野（露光領域）での照明特性を良好に補正することができる。

【0111】

なお、以上の照明特性の調整動作は、上述した図 2 5 の調整フローと同一であるため説明は省略するが、図 8 に示す制御系 8 が 4 つの調整系 ( $AD_1 \sim AD_4$ ) を制御することなく、それら 4 つの調整系 ( $AD_1 \sim AD_4$ ) を作業者が調整できる機械的な又は電氣的な調整機構としても良い。この場合、照明特性計測用センサー I S (照明特性計測装置) による計測結果に基づいて作業者が 4 つの調整系 ( $AD_1 \sim AD_4$ ) を介して照度分布の補正及びテレセントリシティの補正を行うことができる。

## 【 0 1 1 2 】

また、図 8 では、基板ステージ W S の一端に設けられた照明特性計測用センサー I S を用いて投影系 6 の結像面 (又は露光視野) で照明特性を計測した例を説明したが、マスクステージ M S に一端に照明特性計測用センサー I S を設けて、この照明特性計測用センサー I S を用いて照明系 (1 ~ 4) の照明領域 I F 内の 2 次元的な照明特性を計測するようにしても良い。この計測においては、照明特性計測用マスクを不要とすることができる。

## 【 0 1 1 3 】

以上の図 8 に示す実施の形態では、第 2 の反射素子群 2 0 b 中の各反射素子の表面に形成される光源像が投影系 6 の瞳の位置  $P_S$  (投影系 6 の入射瞳) に再結像されるため、所謂ケーラー照明が達成される。以上の第 2 の実施の形態で示すように、例えば、X 線等の波長が 100nm 以下かつある発散角を持つ光を用いて、マスクパターンを感光性基板 7 に露光するために、照明装置及び投影系の全てを反射型部材及び反射型素子で構成したとしても、実質的にケーラー照明の条件を保ちながら、マスク上に照度が均一な円弧状の照明領域を効率良く形成することができる。

## 【 0 1 1 4 】

また、図 8 に示す第 2 の実施の形態では、第 1 及び第 2 の反射素子群 (2 0 a、2 0 b) を構成する各反射素子 ( $E_1$ 、 $E_2$ ) 及びコンデンサー光学系を構成するコンデンサーミラー 3 を共に偏心した球面状の反射面とした例を述べたが、これらを非球面とすることもできることは言うまでもない。また、図 8 に示す第 2 の実施の形態では、コンデンサー光学系 3 の光軸  $Ax_C$  と投影系 6 の光軸  $Ax$

$p$  とが互いに直交するように、コンデンサー光学系 3 と投影系 6 とを配置した例を示したが、図 13 に示すように、偏向ミラー（平面ミラー）4 の配置を変更して、物理的な配置上においても、コンデンサー光学系 3 の光軸  $A \times_C$  と投影系 6 の光軸  $A \times_p$  とが同軸となるように、コンデンサー光学系 3 と投影系 6 とを配置しても良い。

## 【0115】

さて、次に、図 14 及び図 15 を参照しながら図 8 に示した第 2 の実施の形態の変形例について説明する。本例では、図 9 の（a）及び（b）に示した第 1 及び第 2 の反射素子群（20a、20b）での照明効率をより一層改善するために、図 8 に示した第 1 及び第 2 の反射素子群（20a、20b）を図 14 及び図 15 に示す構成としたものである。

## 【0116】

まず、第 1 の反射素子群 20a の構成について説明すると、図 14 の（a）に示すように、第 1 の反射素子群 20a は、円弧状の輪郭（外形）を有する多数の第 1 の反射素子が Z 方向に沿って多数配列された第 2 の反射素子の列を Y 方向に沿って 3 列有している。第 1 番目の反射素子の列  $G_{E11}$  は多数の反射素子（ $E_{11a} \sim E_{11v}$ ）で構成されている。そして、この第 1 番目の反射素子の列  $G_{E11}$  は、第 1 番目の反射素子の列の中心（各反射素子の中心）を横切り Z 軸と平行な軸  $A_1$  を中心に、第 1 番目の反射素子の列  $G_{E11}$  を構成する任意の反射素子がそれぞれ所定量だけ回転させた状態で配列されている。

## 【0117】

また、第 2 番目の反射素子の列  $G_{E12}$  は多数の反射素子（ $E_{12a} \sim E_{12y}$ ）で構成されている。そして、この第 2 番目の反射素子の列  $G_{E12}$  は、第 2 番目の反射素子の列の中心（各反射素子の中心）を横切り Z 軸と平行な軸  $A_2$  を中心に、第 2 番目の反射素子の列  $G_{E12}$  を構成する任意の反射素子がそれぞれ所定量だけ回転させた状態で配列されている。

## 【0118】

さらに、第 3 番目の反射素子の列  $G_{E13}$  は多数の反射素子（ $E_{13a} \sim E_{13v}$ ）で構成されている。そして、この第 3 番目の反射素子の列  $G_{E13}$  は、第 3 番目の

反射素子の列の中心（各反射素子の中心）を横切りZ軸と平行な軸 $A_3$ を中心に、第3番目の反射素子の列 $G_{E13}$ を構成する任意の反射素子がそれぞれ所定量だけ回転させた状態で配列されている。

## 【0 1 1 9】

次に、第2の反射素子群2 0 aの構成について説明すると、図14の(b)に示すように、第2の反射素子群2 0 bは、ほぼ正形状の輪郭（外形）を有する多数の第2の反射素子 $E_2$ がZ方向に沿って多数配列された反射素子の列をY方向に沿って9列有している。そして、第2の反射素子群2 0 bは、図14の(b)の下側の列から順に、第1列～第3列までの3列の反射素子列からなる第1の部分群 $G_{E21}$ と、第4列～第6列までの3列の反射素子列からなる第2の部分群 $G_{E22}$ と、第7列～第9列までの3列の反射素子列からなる第3の部分群 $G_{E23}$ とを有している。

## 【0 1 2 0】

ここで、第1の部分群 $G_{E21}$ を構成する各反射素子 $E_2$ の表面には、前述の第1の反射素子群2 0 a中の第1番目の反射素子の列 $G_{E11}$ の各反射素子（ $E_{11a} \sim E_{11v}$ ）によって集光された光源像がそれぞれ形成される。また、第2の部分群 $G_{E22}$ を構成する各反射素子 $E_2$ の表面には、前述の第1の反射素子群2 0 a中の第2番目の反射素子列 $G_{E12}$ の各反射素子（ $E_{12a} \sim E_{12y}$ ）によって集光された光源像がそれぞれ形成される。

## 【0 1 2 1】

さらに、第3の部分群 $G_{E23}$ を構成する各反射素子 $E_2$ の表面には、前述の第1の反射素子群2 0 a中の第3番目の反射素子列 $G_{E13}$ の各反射素子（ $E_{13a} \sim E_{13v}$ ）によって集光された光源像がそれぞれ形成される。具体的には、図15に示すように、第1番目の反射素子列 $G_{E11}$ を構成する各反射素子（ $E_{11a} \sim E_{11k}$ ）は、第1番目の反射素子列の中心（各反射素子の中心 $C_{1a} \sim C_{1k}$ ）を横切りZ軸と平行な軸 $A_1$ を中心に、第1番目の反射素子の列 $G_{E11}$ を構成する任意の反射素子がそれぞれ所定量だけ回転させた状態で配列されている。

## 【0 1 2 2】

例えば、反射素子 $E_{11a}$ は、軸 $A_1$ を中心に右回り（反時計回り）に所定量（

微小量)だけ回転した状態で固設されており、この反射素子 $E_{11a}$ は、第1の部分群 $G_{E21}$ の第3列目の最も上方の反射素子 $E_2$ 上において、ある大きさを持つ円形状の光源像 $I_a$ を形成する。また、反射素子 $E_{11f}$ は、軸 $A_1$ を中心に左回り(時計回り)に所定量(微小量)だけ回転した状態で固設されており、この反射素子 $E_{11f}$ は、第1の部分群 $G_{E21}$ の第1列目の上から2番目の反射素子 $E_2$ 上において、ある大きさを持つ円形状の光源像 $I_f$ を形成する。

## 【0123】

また、反射素子 $E_{11k}$ は、軸 $A_1$ を中心回りに回転されることなく固設されており、この反射素子 $E_{11k}$ は、第1の部分群 $G_{E21}$ の第2列目の上から4番目の反射素子 $E_2$ 上において、ある大きさを持つ円形状の光源像 $I_f$ を形成する。この時の反射素子 $E_{11k}$ の光軸と第1の部分群 $G_{E21}$ を構成する各反射素子の光軸とは互いに平行となっている。

## 【0124】

この様な図15に示す構成は、第1の反射素子群20a中の第2番目の反射素子列 $G_{E12}$ と第2の部分群 $G_{E22}$ との間、及び第1の反射素子群20a中の第3番目の反射素子列 $G_{E13}$ と第2の部分群 $G_{E23}$ の間でも同様である。以上のように、図14及び図15に示す第1及び第2の反射素子(20a、20b)の構成によれば、図9に示した第1及び第2の反射素子(20a、20b)の構成に比べて、第2の反射素子の輪郭(外形)によって大きさのある光源像が遮光されにくいため、照明効率を向上させることができる。

## 【0125】

以上の第1及び第2の実施の形態では、多光源形成手段の少なくとも1部を構成する第1の反射素子群中の円弧状の輪郭(外形)を持つ反射素子( $E$ 、 $E_1$ )が、その素子の光軸( $A \times E$ 、 $A \times E_1$ )に対して偏心した偏心ミラーで構成されているため、ある像高(光軸からの高さ)における円弧領域のみでの収差補正をすれば良いため、非偏心反射素子を設計する場合よりも光学設計上の制約条件が大幅に緩和される。それによって、第1の反射素子群中の反射素子にて発生する収差を十分に抑えることができる。従って、マスク5等の被照射面において、非常に良好なる均一な円弧照明が実現できるという利点がある。

## 【0126】

さらに、コンデンサー光学系も偏心ミラー系で構成することにより、コンデンサー光学系にて発生する収差も十分に抑えることができるため、以上の利点を相乗的に得ることができる。なお、コンデンサー光学系は1枚の偏心ミラーで構成することができるが、複数枚の偏心ミラーで構成することも可能である。なお、第1及び第2の実施の形態にて示した第1の反射素子群と第2の反射素子群とのうちの少なくとも一方を微小量だけ傾斜させるように構成すれば、被照射面上に形成される円弧状の照明領域での照度分布等を調整することができる。さらには、コンデンサー光学系を構成する少なくとも1つの偏心ミラーを所定方向（コンデンサー光学系の光軸又はその光軸と直交する方向）へ微小量だけ移動、あるいは傾斜させるように構成し、弧状の照明領域での照度分布等を調整しても良い。

## 【0127】

また、良好なる照明領域を保ちながら装置をコンパクトに構成するためには、第2の実施の形態における第1の反射素子群20a及びコンデンサー光学系3も前述した条件式(2)を関係を満足することが望ましい事は言うまでもない。さらに、また、以上の各実施の形態では、多光源形成光学系を構成する第1光学素子や第2の光学素子をそれぞれ反射ミラーで構成した例を示したが、これらを屈折性のレンズ素子で構成しても良い。この場合、第1光学素子を構成するレンズ素子の断面形状は、円弧とすることが良いことは言うまでもない。なお、以上の図9及び図14においては、多数の反射素子( $E_1$ ,  $E_2$ )を隙間がないように稠密に配置して構成した第1光学素子群20a及び第2光学素子群20bをそれぞれ示した。しかしながら、図9(b)及び図14(b)に示す第2光学素子群においては、多数の反射素子 $E_2$ を必ずしも隙間がないように稠密に配置する必要はない。その理由について述べると、前述したように、第2光学素子群20b上またはその近傍には、各反射素子 $E_2$ にそれぞれ対応して多数の光源像が形成される。そして、これら光源像が各反射素子 $E_2$ の有効反射領域内に収まっている限り、光量損失を生じることはない。従って、第2光学素子群20b上またはその近傍において多数の光源像が隙間を持って離散的に形成される場合には、第



2 光学素子群における多数の反射素子  $E_2$  は隙間を持って離散的に配置することができる。

【0128】

また、図1、図2、図8、図9、図13、図14及び図15に示す反射型オプティカルインテグレータは、所定の形状及び大きさを有する2次光源を形成する又は被照射物体（マスク5、基板7）を均一に照明する機能を持たせるために、少なくとも1以上の反射素子群（2、20a、20b）を有する構成としているが、反射素子群の代わりに反射型の回折光学素子を用いても良い。この場合、反射型オプティカルインテグレータは、少なくとも1以上の反射型の回折光学素子で構成することができる。なお、反射型オプティカルインテグレータを少なくとも1以上の反射型の回折光学素子で構成できることは、以下に述べる図16から図22に示す各実施の形態においても同様である。

【0129】

ところで、図16には、図1に示した第1の実施の形態に係るステップ・アンド・スキャン方式により露光動作を行う投影露光装置の変形例を示している。図16に示す投影露光装置は、5nm～20nm程度の軟X線領域の光（EUV光）を用いて、ステップ・アンド・スキャン方式により露光動作を行うものである。なお、図16において、図1に示した同一の機能を持つ部材には同一の符号を付してある。また、図16においては、マスク5の縮小像をウエハ7上に形成する投影系の光軸方向をZ方向とし、このZ方向と直交する紙面内方向をY方向とし、これらYZ方向と直交する紙面垂直方向をX方向とする。また、図16、後述する図17及び図19～図21に示す装置においては、図1及び図8に示したように、投影系6に対してマスクステージMSと基板ステージWSとを相対的に移動させる駆動装置（ $D_1$ 、 $D_2$ ）は備えているが、図17及び図19～図21において、マスクステージMS及び駆動装置（ $D_1$ 、 $D_2$ ）を図示することは省略する。

【0130】

さて、図16に示すように、露光装置は、投影原版（マスク）としての反射型マスク5に描画された回路パターンの一部の像を投影系6を介して基板としての

ウエハ7上に投影しつつ、マスク5とウエハ7とを投影光学系9に対して1次元方向（Y方向）に相対走査することによって、マスク5の回路パターンの全体をウエハ7上の複数のショット領域の各々にステップアンドスキャン方式で転写するものである。

#### 【0131】

ここで、図16に示すように、露光用の照明光である軟X線は、大気に対する透過率が低いため、EUV光が通過する光路は真空チャンバー100により覆われて外気より遮断されている。レーザ光源10は、赤外域～可視域の波長のレーザ光を供給する機能を有し、例えば半導体レーザ励起によるYAGレーザやエキシマレーザなどを適用できる。このレーザ光は集光光学部材11により集光されて、位置13に集光する。ノズル12は気体状の物体を上記集光位置13へ向けて噴出し、この噴出された物体は位置3において高照度のレーザ光を受ける。このとき、噴出された物体がレーザ光のエネルギーで高温になり、プラズマ状態に励起され、低ポテンシャル状態へ遷移する際にEUV光を放出する。

#### 【0132】

この位置3の周囲には、楕円鏡14が配置されており、この楕円鏡14は、その第1焦点が上記集光位置13とほぼ一致するように位置決めされている。楕円鏡14の内表面には、EUV光を反射するための多層膜が設けられており、ここで反射されたEUV光は、楕円鏡14の第2焦点で一度集光した後、放物面鏡（コリメーター反射鏡）15へ向かう。この反射鏡15は、その焦点が楕円鏡14の第2焦点位置とほぼ一致するように位置決めされており、その内表面には、EUV光を反射するための多層膜が設けられている。

#### 【0133】

放物面鏡15から射出されるEUV光は、ほぼコリメートされた状態でオプティカルインテグレータとしての反射型フライアイ光学系2へ向かう。なお、集光光学部材11、楕円鏡14及び放物面鏡15によって集光光学系が構成されている。この反射型フライアイ光学系2は、複数の反射面（複数の反射素子 $E_1$ の反射面）を集積してなる第1の反射素子群20aと、第1の反射素子群20aの複数の反射面と対応した複数の反射面（複数の反射素子 $E_2$ の反射面）を有する第

2の反射素子群20bとで構成されている。これら第1及び第2の反射素子群20a, 20bを構成する複数の反射面上にもEUV光を反射させるための多層膜が設けられている。

#### 【0134】

ここで、反射型フライアイ光学系2を構成する一方の第2反射素子群120bの反射面位置またはその近傍の位置には、反射型マスク5を照明する光束の開口数（照明系の開口数）を可変とするための第1の可変開口絞りAS1が設けられている。この第1の可変開口絞りAS1は、ほぼ円形状の可変の開口部を有しており、第1の駆動系DR1によって、第1の可変開口絞りAS1の開口部の開口径が可変となっている。

#### 【0135】

さて、放物面鏡15からのコリメートされたEUV光は、第1の反射素子群20aにより波面分割され、各々の反射面からのEUV光が集光されて複数の光源像が形成される。これら複数の光源像が形成される位置の近傍のそれぞれには、第2の反射素子群20bの複数の反射面が位置決めされており、これら第2の反射素子群20bの複数の反射面は、実質的にフィールドミラーの機能を果たす。このように、反射型フライアイ光学系2は、放物面鏡15からの略平行光束に基づいて、2次光源としての多数の光源像を形成する。

#### 【0136】

さて、反射型フライアイ光学系2により形成された2次光源からのEUV光は、この2次光源位置の近傍が焦点位置となるように位置決めされたコンデンサミラー3へ向かい、このコンデンサミラー3にて反射集光された後に、光路折り曲げミラー4を介して、反射型マスク5上に達する。これらコンデンサミラー3及び光路折り曲げミラーの表面には、EUV光を反射させる多層膜が設けられている。そして、コンデンサミラー3は、2次光源から発するEUV光を集光して、反射型マスク5上の所定の照明領域を重疊的に均一照明する。

#### 【0137】

そして、反射型マスク5上には、EUV光を反射する多層膜のパターンが設けられており、この反射型マスク5から反射したEUV光が投影系6によって結像

されることにより、反射型マスク 5 の像が感光性基板としてのウエハ 7 上に転写される。なお、本実施形態では、反射型マスク 5 へ向かう照明光と、該反射型マスク 5 にて反射されて投影系 6 へ向かう E U V 光との光路分離を空間的に行うために、照明系は非テレセントリック系であり、かつ投影系 6 もマスク側非テレセントリックな光学系としている。

## 【0138】

また、投影系 6 の構成は、図 1 に示した投影系 6 の構成と同一であるため説明を省略するが、図 16 に示す投影系 6 を構成する 4 枚のミラー (6 a ~ 6 d) の表面には、E U V 光を反射させる多層膜が設けられている。ところで、図 17 における投影系 6 の瞳位置またはその近傍に配置にはミラー 6 c が配置されているが、このミラー 6 c の反射面またはその近傍には、投影系 6 の開口数を可変とする第 2 の可変開口絞りが設けられている。この第 2 の可変開口絞り A S 2 は、ほぼ円形状の可変の開口部を有しており、第 2 の駆動系 D R 2 によって、第 2 の可変開口絞り A S 2 の開口部の開口径が可変となっている。

## 【0139】

ここで、照明系の開口数と投影系 6 の開口数との比 (コヒーレンスファクター又は  $\sigma$  値) を可変にすることについて説明する。なお、 $\sigma$  値とは、照明系の開口数を N A 1 とし、投影系 6 の開口数を N A 2 とすると、 $\sigma = N A 1 / N A 2$  で定義される。ウエハ 7 に転写するパターンの微細度やウエハ 7 に転写するパターンのプロセスによっては、照明系の開口数と投影系 6 の開口数との比を可変にして、投影系 6 の解像力や焦点深度等を調整することが必要となる。このため、不図示の搬送装置によってウエハステージ W S に順次載置される各ウエハ毎の露光条件に関する露光情報 (露光情報を含むウエハの搬送マップ等)、及びマスクステージ M S 上に順次載置される各種のマスクの載置情報は、コンソール等の入力装置 I U を介して、制御系としての制御装置 8 に入力される。この制御装置 8 は、ウエハステージ W S 上にウエハ 7 が載置される毎に、入力装置 I U からの入力情報に基づいて、照明系の開口数と投影系 6 の開口数との比を変更するか否かを判別する。もし、制御装置 8 は、照明系の開口数と投影系 6 の開口数との比を変更する必要があると判断すると、制御装置 8 は、2 つの駆動系 (D R 1、D R 2)

の内の少なくとも一方を駆動させて、第1の開口絞りAS1と第2の可変開口絞りAS2との内の少なくとも一方の開口径を可変とする。これにより、様々な露光条件のもとで適切な露光が達成できる。

#### 【0140】

なお、第1の開口絞りAS1の開口径を可変とすることに応じて、反射鏡15をこれとは異なる焦点距離を持つ反射鏡に交換することが望ましい。これにより、第1の開口絞りAS1の開口部の大きさに応じて、反射型フライアイ光学系2に入射するEUV光の光束径を変化させることができ、高照明効率を保ちながら適切な $\sigma$ 値のもとでの照明が可能となる。

#### 【0141】

ところで、図16に示した実施の形態において、被照射物体としての反射マスク5又は感光性基板7での照明特性（照明分布、テレセントリシティ等）を良好とするための調整機構について説明する。

#### 【0142】

まず、基板ステージWSの一端に設けられた照明特性計測用センサーISは、計測された投影系6の結像面（又は露光視野）内での照明特性情報を検出する。その後、制御系8は、照明特性計測用センサーISでの計測結果に基づいて現在の照明特性が許容できるか否かを所定の演算を行った上で判断する。もし、計測された照明特性が許容できない場合には、制御系8は、上記計測結果に基づいて、照明特性の補正量を算出した上で、第1調整系（駆動系）AD<sub>1</sub>～第4調整系（駆動系）AD<sub>4</sub>の少なくとも1つを駆動させて、例えば、照度分布の補正及びテレセントリシティの補正を行う。

#### 【0143】

ここで、第1調整系AD<sub>1</sub>は、制御系8からの出力に基づいて、放物面鏡15の射出側のX軸と平行となる第5軸Ax<sub>5</sub>を中心として、矢印方向T5に示すように放物面鏡15を所定量だけ傾斜させる。これにより、基板7上に形成される円弧状照明領域IF（露光領域または投影系6の露光視野）におけるY方向に沿った回転対称な照度分布ID<sub>b2</sub>は補正され、照度分布ID<sub>b2</sub>は平坦になる（図23の（b）を参照）。

## 【0144】

また、第2調整系 $AD_2$ は、制御系8からの出力に基づいて、放物面鏡15の射出側の第5軸 $Ax_5$ と直交する第6軸 $Ax_6$ （Z軸と平行な軸）を中心として、矢印方向T6に示すように放物面鏡15を所定量だけ傾斜させる。これにより、基板7上に形成される円弧状照明領域IF（露光領域または投影系6の露光視野）におけるY方向に沿った傾斜成分を持つ照度分布 $ID_{c2}$ は補正され、照度分布 $ID_{c2}$ は平坦になる（図23の（c）を参照）。

## 【0145】

また、第3調整系 $AD_3$ は、制御系8からの出力に基づいて、反射型オプティカルインテグレータ2（20a、20b）及び第1の開口絞りAS1を照明光軸 $Ax_c$ （X方向）と直交した面（XZ平面）に沿って一体的に所定量だけ移動（偏心）させる。これにより、テレセントリシティの傾斜成分（傾斜テレセン）は補正される（図24の（b）を参照）。

## 【0146】

また、第4調整系 $AD_4$ は、制御系8からの出力に基づいて、反射型オプティカルインテグレータ2（20a、20b）及び第1の開口絞りAS1を照明光軸 $Ax_c$ に沿った方向（Y方向）に一体的に所定量だけ移動させる。これにより、光軸からの位置に応じて等方的に発生するテレセントリシティの変化（倍率テレセン）は補正される（図24の（c）を参照）。

## 【0147】

なお、図16に示す第5軸 $Ax_5$ 及び第6軸 $Ax_6$ は互いに直交する関係を満たしていれば、第5軸 $Ax_5$ はX軸と平行となる任意の位置に、また第6軸 $Ax_6$ はZ軸と平行となる任意の位置に設定にそれぞれ設定することができる。また、図23における走査方向 $DI_1$ は図16に示した例ではY方向に対応し、図23における非走査方向 $DI_2$ （走査方向 $DI_1$ と直交した方向）は図1に示した例ではX方向に対応する。

## 【0148】

以上のように、第1調整系（駆動系） $AD_1$ ～第4調整系（駆動系） $AD_4$ の少なくとも1つを駆動させることにより、基板上に形成される円弧状の露光視野

(露光領域)での照明特性を良好に補正することができる。

【0149】

なお、以上の照明特性の調整動作は、上述した図25の調整フローと同一であるため説明は省略するが、図16に示す制御系8が4つの調整系( $AD_1 \sim AD_4$ )を制御することなく、それら4つの調整系( $AD_1 \sim AD_4$ )を作業者が調整できる機械的な又は電気的な調整機構としても良い。この場合、照明特性計測用センサーIS(照明特性計測装置)による計測結果に基づいて作業者が4つの調整系( $AD_1 \sim AD_4$ )を介して照度分布の補正及びテレセントリシティの補正を行うことができる。

【0150】

また、図16では、基板ステージWSの一端に設けられた照明特性計測用センサーISを用いて投影系6の結像面(又は露光視野)で照明特性を計測した例を説明したが、マスクステージMSに一端に照明特性計測用センサーISを設けて、この照明特性計測用センサーISを用いて照明系(1~4)の照明領域IF内の2次元的な照明特性を計測するようにしても良い。この計測においては、照明特性計測用マスクを不要とすることができる。

【0151】

また、図16に示す露光装置において、反射型マスク5上またはウエハ7上での光照度分布が傾斜するような不均一な分布となっている場合には、反射型フライアイ光学系2に入射するEUV光等の光束を、反射素子群20aを横切るように、偏心させることによって光照度分布の傾きを補正することも可能である。例えば、放物面鏡15を僅かに偏心させることにより、光照度分布の傾きが補正できる。すなわち、反射型マスク5の表面又はウエハ表面上に形成される円弧状の照明領域の左右方向(X方向)において光照度分布の傾きが生じている場合には、放物面鏡15をX方向へ移動させることにより、光照度分布の傾きを補正することができる。また、反射型マスク5の表面又はウエハ表面上に形成される円弧状の照明領域の幅方向(Z方向)における中央部と周辺部とで照度が異なる場合には、放物面鏡15をZ方向へ移動させることにより、光照度分布の傾きを補正することができる。

## 【 0 1 5 2 】

なお、第 1 の開口絞り A S 1 と第 2 の可変開口絞り A S 2 との内の少なくとも一方の開口径を可変とすることにより、ウエハ 7 やマスク 5 に形成される円弧状の照明領域の照明ムラ等の発生に伴う照明状態が悪化することがある。この時には、放物面鏡 1 5、反射型フライアイ光学系 2 及びコンデンサーミラー 3 の内の少なくとも 1 つの光学部材を僅かに移動させて、円弧状の照明領域の照明ムラ等を補正することが望ましい。

## 【 0 1 5 3 】

さて、次に、図 1 7 を参照しながら図 1 6 に示した投影露光装置の第 1 の変形例を説明する。図 1 7 において、図 1 6 に示す部材と同じ機能を持つ部材には同じ符号を付してある。前述の図 1 6 に示した露光装置と図 1 7 に示す露光装置との第 1 の差異は、反射型フライアイ光学系 2 を構成する一方の第 2 反射素子群 2 0 b の反射面位置またはその近傍の位置に配置された第 1 の開口絞り A S 1 の代わりに、図 1 8 に示すように、互いに形状や大きさが異なる複数の開口絞り（5 0 a ～ 5 0 f）が形成されたターレット板 5 1 を設け、第 1 駆動系 D R 1 によって所定の回転軸 5 2 を中心としてターレット板 5 1 を回転可能に設けた点である。

## 【 0 1 5 4 】

また、図 1 6 に示した露光装置に対する第 2 の差異は、放物面鏡 1 5 と反射型フライアイ光学系 2 を構成する一方の第 1 反射素子群 2 0 a との間の光路中において、円形状の光束断面を持つ E U V 光を輪帯状（リング状）の光束断面を有する E U V 光に変換する輪帯光束変換ユニット 6 0 が照明光路に対して挿脱可能に設けられている点である。

## 【 0 1 5 5 】

この輪帯光束変換ユニット 6 0 は、リング状の反射面を持つ第 1 反射部材 6 0 a 及び円錐状の反射面を持つ第 2 反射部材 6 0 b とを有している。反射型フライアイ光学系 2 に入射する輪帯状（リング状）の E U V 光における輪帯の内径と輪帯の外径との比（所謂、輪帯比）を可変とするために、第 1 反射部材 6 0 a と第 2 反射部材 6 0 b とは、照明光路に沿って相対的に移動可能に設けられている。



【0156】

なお、照明光路に対する輪帯光束変換ユニット60の挿脱及び照明光路に沿った第1反射部材60aと第2反射部材60bとの相対移動は、第3駆動系DR3によって行われる。ここで、図17及び図18を参照しながら、ターレット板51及び輪帯光束変換ユニット60について詳述する。

【0157】

複数の開口絞りを有するターレット板51は、図18に示す如く、所定の軸52を中心として回転可能に設けられている。図示の如く、ターレット板51上には、それぞれ開口部の形状が異なる開口絞り50a～50fが設けられている。ここで、開口絞り50aは、輪帯形状（ドーナツ状）の開口部を持つ開口絞りであり、開口絞り50bと開口絞り50eとは、それぞれ開口径の異なる円形状の開口部を持つ開口絞りである。また、開口絞り50cは、4つの扇形の開口部を有する開口絞りであり、開口絞り50dは、4つの円形状の開口部を有する開口絞りである。そして、開口絞り50fは、開口絞り50aとは異なる輪帯比（輪帯形状の開口部の外径と内径との比率）を持つ開口絞りである。

【0158】

図17において、入力装置IUは、マスク5やウエハ7上での照明方法の選択するために必要な情報を入力するためのものである。例えば、入力装置IUは、ウエハ7に転写するパターンの微細度やウエハ7に転写するパターンのプロセスに応じて、不図示の搬送装置によって順次載置される各ウエハ毎の露光条件に関する露光情報（露光情報を含むウエハの搬送マップ等）、及びマスクステージMS上に順次載置される各種のマスクの載置情報を入力するためのものである。

【0159】

図17に示す例では、入力装置IUからの入力情報に基づいて、制御装置8は、「第1の輪帯照明」、「第2の輪帯照明」、「第1の通常照明」、「第2の通常照明」、「第1の特殊傾斜照明」及び「第2の特殊傾斜照明」の選択が可能となっている。ここで、「輪帯照明」とは、反射型フライアイ光学系2によって形成される2次光源の形状を輪帯状（ドーナツ状）にすることによって、反射型マスク6及びウエハ7に対してEUV光を斜め方向から照明し、これによって、投

影系 6 が本来持つ解像力及び焦点深度を向上させようとするものである。また、「特殊傾斜照明」とは、反射型フライアイ光学系 2 によって形成される 2 次光源をその中心から所定の距離だけ偏心した離散的な複数の偏心光源にすることによって、反射型マスク 6 及びウエハ 7 に対して E U V 光を斜め方向から照明し、投影系 6 が本来持つ解像力及び焦点深度をより一層向上させようとするものである。また、「通常照明」とは、反射型フライアイ光学系 2 によって形成される 2 次光源の形状をほぼ円形状にすることによって、最適な  $\sigma$  値のもとでマスク 5 やウエハ 7 上を照明しようとするものである。

## 【 0 1 6 0 】

さて、制御装置 8 は、入力装置 I U からの入力情報に基づいて、ターレット板 5 1 を回転させる第 1 駆動系 D R 1 と、投影系 6 の開口絞り A S 2 の開口径を変化させる第 2 駆動系 D R 2 と、輪帯光束変換ユニット 6 0 を照明光路に対する挿脱及び輪帯光束変換ユニット 6 0 における 2 つの反射部材 ( 6 0 a、6 0 b ) との相対間隔を変化させる第 3 駆動系 D R 3 との制御を行なう。

## 【 0 1 6 1 】

以下、この制御装置 8 の動作について詳述する。マスク 5 上での照明状態を通常照明に設定する場合には、制御装置 8 は、入力装置 I U からの入力情報に基づいて、「第 1 の通常照明」または「第 2 の通常照明」を選択する。ここで、「第 1 の通常照明」と「第 2 の通常照明」との違いは、 $\sigma$  値が異なる点である。

## 【 0 1 6 2 】

例えば、制御装置 8 が「第 1 の通常照明」を選択した場合には、制御装置 8 は、反射型フライアイ光学系 2 の一方を構成する第 2 光学素子群 2 0 b の射出側に形成される 2 次光源 ( 多数の光源像 ) の位置に開口絞り 5 0 e が位置するように、第 1 駆動系 D R 1 を駆動してターレット板 5 1 を回転させる。これと同時に、制御装置 8 は、必要に応じて、第 2 駆動系 D R 2 を介して投影系 6 中の第 2 の開口絞りの開口径を変化させる。この時、輪帯光束変換ユニット 6 0 が照明光路中に設定されている場合には、制御装置 8 は、第 3 駆動系 D R 3 を介して輪帯光束変換ユニット 6 0 を照明光路から退避させる。

## 【 0 1 6 3 】

以上に述べた照明系の設定状態のもとで、EUV光を反射型マスク5のパターンを照明すると、適切な「第1の通常照明」の条件（適切な $\sigma$ 値）のもとで、反射型マスク5のパターンを投影系6を介して感光性基板（ウエハ）7に露光することができる。また、制御装置8が「第2の通常照明」を選択した場合には、制御装置8は、反射型フライアイ光学系2の一方を構成する第2光学素子群20bの射出側に形成される2次光源（多数の光源像）の位置に開口絞り50bが位置するように、第1駆動系DR1を駆動してターレット板51を回転させる。これと同時に、制御装置8は、必要に応じて、第2駆動系DR2を介して投影系6中の第2の開口絞りの開口径を変化させる。この時、輪帯光束変換ユニット60が照明光路中に設定されている場合には、制御装置8は、第3駆動系DR3を介して輪帯光束変換ユニット60を照明光路から退避させる。

#### 【0164】

以上に述べた照明系の設定状態のもとで、EUV光を反射型マスク5のパターンを照明すると、適切な「第2の通常照明」の条件（第1の通常照明の時よりも大きな $\sigma$ 値）のもとで、反射型マスク5のパターンを投影系6を介して感光性基板（ウエハ）7に露光することができる。なお、図16の例で述べたように、図17の例においても、第1の開口絞りAS1の開口径を可変とすることに応じて、反射鏡15をこれとは異なる焦点距離を持つ反射鏡に交換することが望ましい。これにより、第1の開口絞りAS1の開口部の大きさに応じて、反射型フライアイ光学系2に入射するEUV光の光束径を変化させることができ、高照明効率を保ちながら適切な $\sigma$ 値のもとでの照明が可能となる。

#### 【0165】

また、反射型マスク5に対する照明を傾斜照明に設定する場合には、制御装置8は、入力装置IUからの入力情報に基づいて、「第1の輪帯照明」、「第2の輪帯照明」、「第1の特殊傾斜照明」及び「第2の特殊傾斜照明」のうちの何れかに1つを選択する。ここで、「第1の輪帯照明」と「第2の輪帯照明」との違いは、輪帯状に形成される2次光源の輪帯比が異なる点である。また、「第1の特殊傾斜照明」と「第2の特殊傾斜照明」との違いは、2次光源の分布が異なる点である。すなわち、「第1の特殊傾斜照明」における2次光源は、4つの扇状

の領域に分布しており、「第2の特殊傾斜照明」における2次光源は、4つの円形状の領域に分布している。

#### 【0166】

例えば、「第1の輪帯照明」が選択された場合には、制御装置8は、反射型フライアイ光学系2の一方を構成する第2光学素子群20bの射出側に形成される2次光源（多数の光源像）の位置に開口絞り50aが位置するように、駆動系DR1を駆動させてターレット板51を回転させる。また、「第2の輪帯照明」が選択された場合には、制御装置8は、反射型フライアイ光学系2の一方を構成する第2光学素子群20bの射出側に形成される2次光源（多数の光源像）の位置に開口絞り50fが位置するように、駆動系DR1を駆動させてターレット板51を回転させる。また、「第1の特殊傾斜照明」が選択された場合には、制御装置8は、反射型フライアイ光学系2の一方を構成する第2光学素子群20bの射出側に形成される2次光源（多数の光源像）の位置に開口絞り50cが位置するように、駆動系DR1を駆動させてターレット板51を回転させる。また、「第2の特殊傾斜照明」が選択された場合には、制御装置8は、反射型フライアイ光学系2の一方を構成する第2光学素子群20bの射出側に形成される2次光源（多数の光源像）の位置に開口絞り50dが位置するように、駆動系DR1を駆動させてターレット板51を回転させる。

#### 【0167】

以上の4つの開口絞り（50a、50c、50d、50f）のうちのいずれか1つが照明光路中に設定されると、これと同時に、制御装置8は、必要に応じて、第2駆動系DR2を介して投影系6中の第2の開口絞りの開口径を変化させる。次に、制御装置8は、第3駆動系DR3を介して、輪帯光束変換ユニット60の照明光路への設定及び輪帯光束変換ユニット60の調整を行う。この輪帯光束変換ユニット60の設定及び調整の動作は以下のように行われる。

#### 【0168】

まず、輪帯光束変換ユニット60が照明光路中に設定されていない場合には、制御装置MCUは、第3駆動系DR3を介して輪帯光束変換ユニット60を照明光路中へ設定する。次に、反射型フライアイ光学系2の一方を構成する第2光学素

子群 2 0 b の射出側に設定された 4 つの開口絞り ( 5 0 a 、 5 0 c 、 5 0 d 、 5 0 f ) の内の 1 つの開口絞りの開口部に輪帯光束が効率良く導かれるように、制御装置 M C U は、第 3 駆動系 D R 3 を介して、輪帯光束変換ユニット 6 0 中の 2 つの反射部材 ( 6 0 a 、 6 0 b ) の相対的な間隔を変化させる。これによって、輪帯光束変換ユニット 6 0 は、これに入射する光束を適切な輪帯比を持つ輪帯光束に変換することができる。

#### 【 0 1 6 9 】

以上の輪帯光束変換ユニット 6 0 の設定及び調整によって、反射型フライアイ光学系 2 に形成される 2 次光源は、4 つの開口絞り ( 5 0 a 、 5 0 c 、 5 0 d 、 5 0 f ) の各々の開口部に見合った適切な輪帯比を持つ輪帯状の 2 次光源とすることができるため、高い照明効率のもとで反射マスク及びウエハ 7 を傾斜照明することができる。

#### 【 0 1 7 0 】

なお、ターレット板 5 1 の回転によって互いに形状や大きさが異なる複数の開口絞り ( 5 0 a ~ 5 0 f ) が照明光路内に設定された場合、ウエハ 7 やマスク 5 に形成される円弧状の照明領域の照明ムラ等の照明状態が変化することがある。この時には、放物面鏡 1 5 、反射型フライアイ光学系 2 及びコンデンサーミラー 3 の内の少なくとも 1 つの光学部材を僅かに移動させて、円弧状の照明領域の照明ムラを補正することが望ましい。

#### 【 0 1 7 1 】

また、図 1 7 に示す例では、入力装置 I U を介して照明条件等の情報を制御装置 8 に入力しているが、反射マスク 5 上の情報を読み取る検知部を設けても良い。このとき、レチクル R の回路パターンの領域外の位置に、例えばバーコード等で照明方法に関する情報を記録する。検知部は、この照明条件に関する情報を読み取って、制御装置 8 へ伝達する。制御装置 8 は、照明条件に関する情報に基づいて、上述の如く、3 つの駆動装置 ( D R 1 ~ D R 3 ) を制御する。

#### 【 0 1 7 2 】

また、図 1 7 に示す例においては、反射型フライアイ光学系 2 によって形成される 2 次光源の位置に開口絞りを設けているが、4 つの偏心開口を持つ開口絞り (

50c、50d)による照明を不要とし、「輪帯照明」及び「通常照明」を行う場合には、ターゲット板51に形成されている多数の開口絞りは、本発明の原理から容易に理解できるように本発明の必須のものではない。

【0173】

また、光束変換ユニット60において、第1反射部材60aの反射面を互いに対向かつ互いに傾斜配置された2対の平面ミラー素子で構成し、第2反射部材60aの反射面を四角柱状に構成することによって、偏心した4つの光束を形成することができる。これにより、反射型フライアイ光学系2によって形成される2次光源をその中心から偏心した4極の2次光源とすることができる。従って、4つの偏心開口を持つ開口絞り(50c、50d)の開口部に見合うようにEUV光を導くことができる。

【0174】

ところで、図17に示した実施の形態において、被照射物体としての反射マスク5又は感光性基板7での照明特性(照明分布、テレセントリシティ等)を良好とするための調整機構について説明する。

【0175】

まず、基板ステージWSの一端に設けられた照明特性計測用センサーISは、計測された投影系6の結像面(又は露光視野)内での照明特性情報を検出する。その後、制御系8は、照明特性計測用センサーISでの計測結果に基づいて現在の照明特性が許容できるか否かを所定の演算を行った上で判断する。もし、計測された照明特性が許容できない場合には、制御系8は、上記計測結果に基づいて、照明特性の補正量を算出した上で、第1調整系(駆動系)AD<sub>1</sub>～第4調整系(駆動系)AD<sub>4</sub>の少なくとも1つを駆動させて、例えば、照度分布の補正及びテレセントリシティの補正を行う。

【0176】

ここで、第1調整系AD<sub>1</sub>は、制御系8からの出力に基づいて、放物面鏡15の射出側でのX軸と平行となる第5軸Ax<sub>5</sub>を中心として、矢印方向T5に示すように放物面鏡15を所定量だけ傾斜させる。これにより、基板7上に形成される円弧状照明領域IF(露光領域または投影系6の露光視野)におけるY方向に

沿った回転対称な照度分布  $ID_{b2}$  は補正され、照度分布  $ID_{b2}$  は平坦になる (図 23 の (b) を参照)。

【0177】

また、第2調整系  $AD_2$  は、制御系8からの出力に基づいて、放物面鏡15の射出側での第5軸  $Ax_5$  と直交する第6軸  $Ax_6$  (Z軸と平行となる軸) を中心として、矢印方向T6に示すように放物面鏡15を所定量だけ傾斜させる。これにより、基板7上に形成される円弧状照明領域IF (露光領域または投影系6の露光視野) におけるY方向に沿った傾斜成分を持つ照度分布  $ID_{c2}$  は補正され、照度分布  $ID_{c2}$  は平坦になる (図23の(c)を参照)。

【0178】

また、第3調整系  $AD_3$  は、制御系8からの出力に基づいて、反射型光学インテグレータ2 (20a、20b) 及びターレット板52 (第1駆動系D1及び回転軸52を含む) を照明光軸  $Ax_c$  (Y方向) と直交した面 (XZ平面) に沿って一体的に所定量だけ移動 (偏心) させる。これにより、テレセントリシティの傾斜成分 (傾斜テレセン) は補正される (図24の(b)を参照)。

【0179】

また、第4調整系  $AD_4$  は、制御系8からの出力に基づいて、反射型光学インテグレータ2 (20a、20b) 及びターレット板52 (第1駆動系D1及び回転軸52を含む) を照明光軸  $Ax_c$  に沿った方向 (Y方向) に一体的に所定量だけ移動させる。これにより、光軸からの位置に応じて等方的に発生するテレセントリシティの変化 (倍率テレセン) は補正される (図24の(c)を参照)。

【0180】

なお、図17に示す第5軸  $Ax_5$  及び第6軸  $Ax_6$  は互いに直交する関係を満たしていれば、第5軸  $Ax_5$  はX軸と平行となる任意の位置に、また第6軸  $Ax_6$  はZ軸と平行となる任意の位置に設定にそれぞれ設定することができる。

【0181】

以上のように、第1調整系 (駆動系)  $AD_1$  ~ 第4調整系 (駆動系)  $AD_4$  の少なくとも1つを駆動させることにより、基板上に形成される円弧状の露光視野

(露光領域)での照明特性を良好に補正することができる。

【0182】

なお、以上の照明特性の調整動作は、上述した図25の調整フローと同一であるため説明は省略するが、図17に示す制御系8が4つの調整系( $AD_1 \sim AD_4$ )を制御することなく、それら4つの調整系( $AD_1 \sim AD_4$ )を作業者が調整できる機械的な又は電氣的な調整機構としても良い。この場合、照明特性計測用センサーIS(照明特性計測装置)による計測結果に基づいて作業者が4つの調整系( $AD_1 \sim AD_4$ )を介して照度分布の補正及びテレセントリシティの補正を行うことができる。

【0183】

また、図17では、基板ステージWSの一端に設けられた照明特性計測用センサーISを用いて投影系6の結像面(又は露光視野)で照明特性を計測した例を説明したが、マスクステージMSに一端に照明特性計測用センサーISを設けて、この照明特性計測用センサーISを用いて照明系(1~4)の照明領域IF内の2次元的な照明特性を計測するようにしても良い。この計測においては、照明特性計測用マスクを不要とすることができる。

【0184】

なお、図17に示す輪帯光束変換ユニット60を反射型の回折光学素子で構成し、この反射型の回折光学素子の回折作用によって入射光を輪帯光束に変換することが可能である。さらに、複数の反射型の回折光学素子で輪帯光束変換ユニット60を構成すれば、輪帯比を変化させることも可能である。この場合、例えば、複数の反射型の回折光学素子の間隔を可変とすることで輪帯比を変化させることができる。

【0185】

さらに、反射型インテグレータ2の入射側において、4極光束形成ユニットとしての4極照明用の反射型回折光学素子を配置し、この反射型の回折光学素子の回折作用によって入射光を4つの光束に変換することが可能である。これにより、特殊傾斜照明と呼ばれる4極照明を行うことができる。この場合、相対的に間隔を可変な複数の反射型の回折光学素子で4極光束形成ユニットを構成し、これ



により入射光を4つの光束に変換すれば、瞳面に形成される4つの光強度分布を瞳中心に対して放射方向に変化させる事ができる。さらに、輪帯光束変換ユニット60及び4極光束形成ユニットとを照明光路に対して挿脱可能に構成すれば、輪帯照明、4極照明あるいは通常照明を高い照明効率のもとで選択的に行うことができる。さらには、特殊傾斜照明は4極照明に限ることなく、入射光を複数（2個、4個、8個・・・2N個：但し、Nは1以上の整数）の光束に変換する多極光束形成ユニットを用いて多極照明しても良い。この場合、多極光束形成ユニットは少なくとも1つの反射型の回折格子を含む構成とする事が好ましい。

## 【0186】

さらに、多極光束形成ユニットを反射型の回折光学素子で構成することに加え、反射型オプティカルインテグレータを少なくとも1以上の反射型の回折光学素子で構成しても良いことは勿論である。

## 【0187】

さて、次に、図19を参照しながら図16に示した投影露光装置の第2の変形例を説明する。なお、図16に示す部材と同じ機能を持つ部材には同じ符号を付してある。また、図19、後述する図20及び図21に示す装置においては、図16及び図17に示したように、各部材及び各システム（MS、WS、AS1又は51、AS2、DR1、DR2、IU、8、AD1～AD4、IS）を備えているが、これらを図19～図21にて図示することは省略する。なお、図19～図21に示す装置において、感光性基板7での照明特性（照明分布、テレセントリシティ等）を調整するための調整機構の構成及び調整動作は、図16に示した例と同じであるため説明は省略する。但し、図19に示す装置では、第3調整装置AD3による傾斜テレセン及び第4調整装置AD4による倍率テレセン調整は、共に主反射型オプティカルインテグレータとしての主反射型フライアイ2（20a、20b）の移動で行われる。

## 【0188】

前述の図16に示した露光装置と図19に示す露光装置との差異は、コリメートミラーとしての反射鏡15とオプティカルインテグレータ（多光源形成光学系）2としての反射型フライアイ光学系2との光路中に、補助オプティカルインテ

グレータ（補助多光源形成光学系）としての補助反射型フライアイ光学系120、及びリレー光学系としてのリレーミラー110とをそれぞれ配置した点である。なお、光源側からの配置順序からみれば、補助反射型フライアイ光学系120を第1反射型フライアイ光学系（第1オプティカルインテグレータ、第1多光源形成光学系）とし、主反射型フライアイ光学系120を第2反射型フライアイ光学系（第2オプティカルインテグレータ、第2多光源形成光学系）として見ることもできる。また、第1及び第2反射型フライアイ光学系（2、120）は、少なくとも1つの反射型の回折格子を含む構成とすることができる。

#### 【0189】

図19に示す補助反射型フライアイ光学系120は、第1補助反射素子群120a、および第2補助反射素子群120bとを有している。ここで、補助反射型フライアイ光学系120の入射側に配置される第1補助反射素子群120aを構成する多数の反射素子 $E_{120a}$ は、図9（a）や図14（a）に示す様に、主反射型フライアイ光学系2の入射側に配置されている第1反射素子群20aの全体形状（外形）と相似な形状で形成されることが望ましい。しかし、第1補助反射素子群120aを構成する多数の反射素子 $E_{120a}$ を図9（a）及び図14（b）に示すような形状で構成すると、各反射素子 $E_{120a}$ を隙間の無いように稠密に配置することが困難となる。このため、図22（a）に示すように、第1補助反射素子群120aを構成する多数の反射素子 $E_{120a}$ は、ほぼ正方形となる形状でそれぞれ構成されている。また、図22（a）に示すように、第1補助反射素子群120aに入射する光束の断面はほぼ円形状となるため、この第1補助反射素子群120aの全体形状（外形）がほぼ円形となるように、多数の反射素子 $E_{120a}$ は配列されている。これにより、第1補助反射素子群120aは高い照明効率のもとで多数の光源像（2次光源）を第2補助反射素子群120bの位置またはその近傍に形成することができる。

#### 【0190】

また、補助反射型フライアイ光学系120の射出側に配置される第2補助反射素子群120bの全体形状（外形）は、図9（b）や図14（b）に示す様に、主反射型フライアイ光学系2の射出側に配置されている第2反射素子群20bを

構成する各反射素子  $E_{120b}$  の形状とそれぞれ相似な形状で形成されることが望ましい。さらに、第2補助反射素子群 120b を構成する各反射素子  $E_{120b}$  は、これに対応する第1補助反射素子群 120a 中の反射素子  $E_{120a}$  によって形成される光源像の形状と相似または光源像を全て受けるような形状であることが望ましい。

#### 【0191】

ここで、図19に示す例では、主反射型フライアイ光学系2は図14に示される構成であるものとする。このため、主反射型フライアイ光学系2の射出側に配置されている第2反射素子群20bを構成する多数の反射素子  $E_2$  は、図14(b)に示すように、ほぼ正方形の形状を有している。従って、補助反射型フライアイ光学系120中の第1補助反射素子群120aを構成する多数の反射素子  $E_{120a}$  の各々によって形成される光源像をほぼ円形であるため、補助反射型フライアイ光学系120の射出側に配置される第2補助反射素子群120bの各反射素子  $E_{120b}$  の形状は、図22(b)に示すように、ほぼ正方形に構成されている。また、主反射型フライアイ光学系2の射出側に配置されている第2反射素子群20bを構成する各反射素子  $E_2$  の形状は図14(b)に示すようにほぼ正方形であるため、補助反射型フライアイ光学系120の射出側に配置される第2補助反射素子群120bの全体形状(外形)は、図22(b)に示すように、ほぼ正方形となるように多数の反射素子  $E_{120b}$  が配列されている。

#### 【0192】

このように、図19に示す例では、第1及び第2補助反射素子群(120a、120b)を同じ反射素子群で構成することができるため、反射素子群の共用化により、製造コストを抑えることができる。なお、図19に示す主反射型フライアイ光学系120のマスク側の第2反射素子群20b及びコンデンサーミラー(コンデンサー光学系)3は、前述した条件式(2)の関係を満足している。

#### 【0193】

次に、2つの反射型フライアイ光学系(2、120)を配置したことによる作用について説明する。この2つの反射型フライアイ光学系(2、120)の配置によって、補助反射型フライアイ光学系120を構成する一方の反射素子群の反

射素子の数 $N$ と主反射型フライアイ光学系2を構成する一方の反射素子群の反射素子の数 $M$ との積( $N \times M$ )に対応する数の光源像が、主反射型フライアイ光学系2を構成する一方の第2反射素子群20bの表面またはその近傍に形成される。従って、主反射素子群20bの表面またはその近傍には、補助反射型フライアイ光学系120により形成される光源像(2次光源)よりもより一層多くの光源像(3次光源)が形成される。そして、主反射型フライアイ光学系2からの3次光源からの光は、反射マスク5及びウエハを重畳的に円弧状に照明するため、図20に示す装置では、反射マスク5及びウエハ7上に形成される円弧状の照明領域での照度分布をより均一とすることができ、より一層、安定した露光が実現できる。

#### 【0194】

なお、2つの反射型フライアイ光学系(2、120)の間に配置されたリレーミラー(リレー光学系)110は、補助反射型フライアイ光学系120からの多数の光源像(2次光源)からの光束を集光して主反射型フライアイ光学系2へ導いている。そして、リレーミラー(リレー光学系)110は、補助反射型フライアイ光学系120における光源側の反射素子群のほぼ表面と主反射型フライアイ光学系120における光源側の反射素子群のほぼ表面とを光学的に共役する機能を担っている。また、リレーミラー(リレー光学系)110は、補助反射型フライアイ光学系120におけるマスク側の反射素子群のほぼ表面と主反射型フライアイ光学系120におけるマスク側の反射素子群のほぼ表面とを光学的に共役とする機能を担っている。但し、補助反射型フライアイ光学系120における光源側の反射素子群のほぼ表面、及び主反射型フライアイ光学系120における光源側の反射素子群のほぼ表面は、被照射面としてのマスク5またはウエハ7と光学的に共役な位置にあり、また、補助反射型フライアイ光学系120におけるマスク側の反射素子群のほぼ表面、及び主反射型フライアイ光学系120におけるマスク側の反射素子群のほぼ表面は、投影系6の瞳または開口絞りASの位置と光学的に共役な位置にある。

#### 【0195】

ここで、図19に示した装置において、反射マスク5及びウエハ上に形る円弧

状の照明領域での照度分布が傾斜している場合には、補助反射型フライアイ光学系 1 2 0 を移動（2 つの反射素子群を一体的に移動）させることが望ましい。すなわち、主反射型フライアイ光学系 2 中の 2 つの反射素子群（1 2 0 a、1 2 0 b）を X 方向または Z 方向に偏心させると、主反射型フライアイ光学系 2 が有するコマ収差の作用によって、照度分布の傾斜成分が補正でき、フラットな照度分布を得ることができる。

#### 【0 1 9 6】

例えば、反射型マスク 5 の表面又はウエハ表面上に形成される円弧状の照明領域の左右方向（X 方向）において光照度分布の傾きが生じている場合には、補助反射型フライアイ光学系 1 2 0 を X 方向へ移動させることにより、光照度分布の傾きを補正することができる。また、反射型マスク 5 の表面又はウエハ表面上に形成される円弧状の照明領域の幅方向（Z 方向）における中央部と周辺部とで照度が異なる場合には、補助反射型フライアイ光学系 1 2 0 を Z 方向へ移動させることにより、光照度分布の傾きを補正することができる。

#### 【0 1 9 7】

また、図 1 9 に示す露光装置による 2 つの反射型フライアイ光学系（2、1 2 0）による均一化効果が大きい場合には、放物面鏡 1 5 の傾斜や移動等による照度調整が期待できないこともある。この場合には、反射型コンデンサー光学系 3 を複数枚のミラーで構成し、その内の少なくとも 1 つを傾斜や移動させることにとり、走査方向（Y 方向、 $DI_1$  方向）や非走査方向（X 方向、 $DI_2$ ）での照度分布の傾斜成分を補正することができる。また、マスク 5 と反射型コンデンサー光学系 3 との間に配置された反射鏡 4 において、被照射面（マスク 5 のパターン面又は基板の被露光面）での照度を均一に補正できるような反射率特性（例えば、角度に応じて所定の反射率特性）を持つ反射面（反射膜）を形成しても良い。さらに、照明光路中に被照射面（マスク 5 のパターン面又は基板の被露光面）での照度を均一に補正できるようなフィルターを配置しても良い。

#### 【0 1 9 8】

さて、図 1 9 に示す露光装置が正常に反射型マスク 5 の像をウエハ 7 上に形成するためには、投影系 6 の入射瞳中央に、照明系の射出瞳の像（第 2 の反射型フ

ライアイ光学系2により形成される3次光源の像)を無収差の状態で形成することが望まれる。この条件が満足されない場合には、照明系の射出瞳の位置を動かして、照明系のテレセン性の調整を行って、投影系6の入射瞳の位置との整合をとることが望ましい。例えば、主反射型フライアイ光学系(2つの反射素子群20a、20b)2及び第1の開口絞りAS1を一体的に移動させることにより、照明系のテレセン性の調整が行われ、投影系6の入射瞳の中央に照明系の射出瞳像の中央を一致させることができる。但し、主反射型フライアイ光学系2により形成される3次光源の位置に開口絞りAS1を設ける必要がない場合には、主反射型フライアイ光学系2中の2つの反射素子群(120a、120b)を一体的に移動させれば良い。

## 【0199】

なお、以上にて説明した図16及び図17に示した例において、投影系6の入射瞳中央に照明系の射出瞳の像を合わせるためには、反射型フライアイ光学系(2つの反射素子群20a、20b)2及び第1の開口絞りAS1を一体的に移動させることにより、投影系6の入射瞳の中央に照明系の射出瞳像の中央を一致させることができる。また、図16及び図17に示した反射型フライアイ光学系2により形成される2次光源の位置に開口絞りAS1を設ける必要がない場合には、反射型フライアイ光学系中の2つの反射素子群(20a、20b)を一体的に移動させれば良い。

## 【0200】

ところで、以上にて説明した図16、図17及び図19に示した例において、反射型フライアイ光学系2にEUV光を供給する光源部(10~15)は、実際上において、相当の体積を必要とするために、露光装置本体部(反射型フライアイ光学系2からウエハ7までの光学系及び制御システム)と同等あるいはそれ以上の体積となる可能性がある。このため、光源部(10~15)と露光装置本体部とをそれぞれ独立に分離して、光源部(10~15)と露光装置本体部とを独立の基盤に設置される可能性がある。この場合、作業者の歩行等による床の振動や光源部(10~15)と露光装置本体部との自重によって床に歪みが生じる場合には、光源部(10~15)の光軸と露光装置本体部内の光学系の光軸とがず

れ、調整状態が狂ってしまう恐れがある。

#### 【0201】

そこで、露光装置本体部の光路（反射型フライアイ光学系2からウエハ7までの光路）において、光源部（10～15）の光軸ずれを光電的に検出する光電検出器を配置し、コリメートミラーとしての反射鏡15の傾きを調整可能に構成し、さらに、上記光電検出器からの出力に基づいて、反射鏡15の傾きを制御する制御部を設けることが望ましい。これにより、作業者の歩行等による床の振動や床に歪みが生じたとしても、光源部（10～15）の光軸と露光装置本体部内の光学系の光軸と自動的に合致させることができる。

#### 【0202】

さて、軟X線用のミラーは、可視光のように高反射率を得ることが難しい。このため、軟X線用の露光装置においては、光学系を構成するミラーの数を減らすことが望まれる。そこで、ミラーの数を減らす1つの手法として、図9（b）及び図14（b）に示す反射型フライアイ光学系2を構成する一方の第2反射素子群10bを全体に湾曲させることで、コンデンサーミラー3を構成を省略することができる。すなわち、図9（b）及び図14（b）に示す第2反射素子群10bを、所定の曲率を持つ基準球面（基準曲面）内に沿って多数の反射素子E2を配列した構成とすることにより、この第2反射素子群10bにコンデンサーミラー3の機能を兼用させることができる。ここで、図20は、図8、図16及び図17に示した反射型フライアイ光学系2を構成する一方の第2反射素子群20bにコンデンサーミラー3の機能を兼用させた第2反射素子群20cを示している。なお、図19に示した主反射型フライアイ光学系2のマスク側の第2反射素子群20bの構成を図20に示したように変更することにより、図19に示す第2反射素子群20bにコンデンサーミラー3の機能を兼用させることも可能である。なお、図20における投影系6は、結像性能をより一層良好とするために6枚のミラー（6a～6f）で構成している。

#### 【0203】

ところで、図16、図17、図19及び図20に示した例においては、レーザー・プラズマ光源を用いた露光装置を示しているが、このレーザー・プラズマ光

源の欠点としては、デブリと呼ばれる微小な物質の飛沫を生ずることである。この微細な飛沫により光学部品が汚染されると、光学系の性能（ミラーの反射率及び反射の均一性）が劣化する。このため、光源部と露光装置本体部との間には、軟X線のみを透過させ飛散粒子を透過させないフィルターを配置することが望ましい。このフィルターとしては、メンブレンと呼ばれる軽元素の薄膜が用いることが良い。

#### 【0204】

そこで、図16、図17、図19及び図20に示した露光装置に対してデブリを防止用のフィルター16を設けた例を図21に示している。図21に示すように、楕円鏡14とコリメート鏡15との間にデブリを防止用のフィルター16を設ければ、デブリによる汚染が発生したとしても、楕円鏡14とフィルター16とをそれぞれ新しいものに交換することで済むため、ランニングコストを低くおさえることができる。

#### 【0205】

ところで、また、前述したように、軟X線は、大気に対する透過率が低いため、図16、図17、図19、図20及び図21に示した露光装置は真空チャンバー100に覆われている。しかしながら、光学部品に溜まった熱が逃げにくく、それによってミラー面が歪みやすい。従って、真空チャンバー100内の各光学部品にはそれぞれ冷却機構が設けられていることが望ましい。さらに望ましくは、個々のミラーに対して複数の冷却機構が複数取り付けられており、ミラー内の温度分布をコントロールできれば、露光動作時でのミラーの歪みをより抑えることができる。

#### 【0206】

また、図16、図17、図19、図20及び図21に示した露光装置における光学系を構成する各ミラーの反射面には多層膜が設けられているが、この多層膜は、モリブデン、ルテニウム、ロジウム、珪素、珪素酸化物のうちの複数の物質を積層させて形成されることが好ましい。

#### 【0207】

また、図16及び図17に示すように、照明条件変更手段（可変開口絞りAS



1、各種の開口部（50a、50f）を持つターレット板51等）を用いることにより、反射型インテグレータ2により形成される2次的光源の大きさを変更（ $\sigma$ 値の可変）や2次的光源の形状を変更（円形状と輪帯状と4極状とのいずれかに変更）すると、この変更に応じて照明特性が変化する場合がある。従って、照明条件変更手段による照明条件の変更に応じて、マスクに形成される円弧状照明領域や感光性基板に形成される円弧状照明領域（円弧状露光領域、投影系の円弧状像面）における走査方向及び非走査方向（走査方向に垂直な方向）での照明分布の傾斜成分の補正（調整）、さらにはマスクに形成される円弧状照明領域や感光性基板に形成される円弧状照明領域（円弧状露光領域、投影系の円弧状像面）における傾斜テレセン及び倍率テレセンの補正（調整）をそれぞれ行う事が好ましい。但し、場合によっては、走査方向及び非走査方向での照明分布の傾斜成分の補正と傾斜テレセン及び倍率テレセンとを含むテレセンの補正との少なくとも一方を行っても良い。

## 【0208】

なお、以上の各実施の形態（図1～図25）に示す装置における各光学部材及び各ステージ等を前述したような機能を達成するように、電氣的、機械的または光学的に連結することで、本発明にかかる露光装置を組み上げることができる。

## 【0209】

また、次に、以上の各実施の形態（図1～図25）に示す露光装置を用いて感光性基板としてのウエハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図26のフローチャートを参照して説明する。

## 【0210】

まず、図26のステップ301において、1ロットのウエハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウエハ上の金属膜上にフォトリソが塗布される。その後、ステップ303において、図1～図25に示す投影露光装置を用いて、マスク（レチクル）上のパターンの像がその投影光学系（投影光学ユニット）を介して、その1ロットのウエハ上の各ショット領域に順次露光転写（走査露光）される。その後、ステップ304において、その1

ロットのウエハ上のフォトレジストの現像が行われた後、ステップ 3 0 5 において、その 1 ロットのウエハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウエハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。

#### 【 0 2 1 1 】

上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

#### 【 0 2 1 2 】

また、上記の図 1 ～図 2 5 に示す露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図 2 7 のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。

#### 【 0 2 1 3 】

図 2 7 において、パターン形成工程 4 0 1 では、本実施形態の露光装置を用いてレチクルのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィー工程が実行される。この光リソグラフィー工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レチクル剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程 4 0 2 へ移行する。

#### 【 0 2 1 4 】

次に、カラーフィルター形成工程 4 0 2 では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した 3 つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、または R、G、B の 3 本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列したカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程 4 0 2 の後に、セル組み立て工程 4 0 3 が実行される。

#### 【 0 2 1 5 】

セル組み立て工程 4 0 3 では、パターン形成工程 4 0 1 にて得られた所定パタ

ーンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル〈液晶セル〉を製造する。

【0216】

その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。

【0217】

上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

【0218】

【発明の効果】以上の如く、本発明によれば、厳しい照明条件を十分に満たし得る高性能な露光装置、及びより一層微細なパターンの露光によってより一層優れたマイクロデバイスの製造方法が達成する事ができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による第1の実施の形態に係る露光装置の概略構成図である。

【図2】図1に示す反射素子群2の構成を示す正面図である。

【図3】（a）は図3は図2に示した反射素子群2中の各反射素子の様子を示す正面図であり、（b）は（a）に示した反射素子の断面形状の様子を示す断面図である。

【図4】反射型マスク5上に形成される円弧状の照明領域IFの様子を示す図である。

【図5】図1に示した反射素子群2の作用を示す図である。

【図6】（a）は反射素子群2中の各反射素子を非球面形状としたときの反射素子の断面形状の様子を示す断面図であり、（b）は（a）に示した反射素子の正面図である。

【図7】コンデンサーミラーを非球面形状としたときのコンデンサーミラーの断

面形状の様子を示す断面図である。

【図 8】本発明による第 2 の実施の形態に係る露光装置の概略的構成を示す図である。

【図 9】(a) は第 1 の反射素子群 2 0 a の構成を示す正面図であり、(b) は第 2 の反射素子群 2 0 b の構成を示す正面図である。

【図 1 0】(a) は図 9 の (a) に示した第 1 の反射素子群 2 0 a 中の各反射素子の様子を示す正面図であり、(b) は (a) に示した反射素子の断面形状の様子を示す断面図である。

【図 1 1】(a) は図 9 の (b) に示した第 2 の反射素子群 2 0 b 中の各反射素子の様子を示す正面図であり、(b) は (a) に示した反射素子の断面形状の様子を示す断面図である。

【図 1 2】図 8 に示した第 1 及び第 2 の反射素子群の作用を示す図である。

【図 1 3】図 8 に示した第 2 の実施の形態に係る露光装置の変形例を示す図である。

【図 1 4】(a) は図 9 の (a) に示した第 1 の反射素子群 2 0 a の変形例の様子を示す正面図であり、(b) は図 9 の (b) の第 2 の反射素子群 2 0 b の変形例の様子を示す正面図である。

【図 1 5】図 1 4 に示した第 1 及び第 2 の反射素子群 (2 0 a、2 0 b) の作用を示す図である。

【図 1 6】図 1 に示した第 1 の実施の形態に係る露光装置の変形例を示す図である。

【図 1 7】図 1 6 に示した露光装置の第 1 の変形例を示す図である。

【図 1 8】図 1 7 に示すターレット板 5 1 の構成を示す斜示図である。

【図 1 9】図 1 6 に示した露光装置の第 2 の変形例を示す図である。

【図 2 0】図 1 6 に示した露光装置の第 3 の変形例を示す図である。

【図 2 1】図 1 6 に示した露光装置の第 4 の変形例を示す図である。

【図 2 2】(a) は図 1 9 の (a) に示した第 1 の補助反射素子群 2 0 a の構成を示す正面図であり、(b) は図 1 9 の (b) の第 2 の補助反射素子群 2 0 b の構成を示す正面図である。

【図 2 3】 照明分布の調整の原理を説明するための図である。

【図 2 4】 テレセントリシティの調整の原理を説明するための図である。

【図 2 5】 照明特性の調整のフローを示す図である。

【図 2 6】 マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例について、そのフローチャートを示す図である。

【図 2 7】 マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法の一例について、そのフローチャートを示す図である。

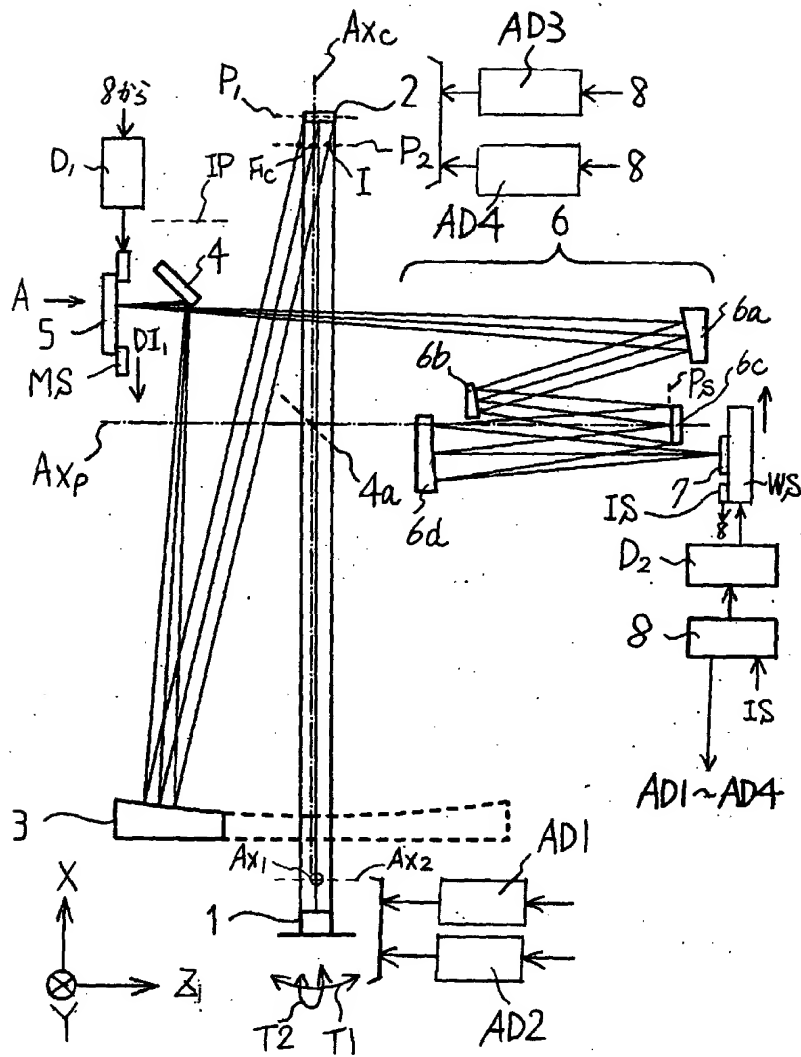
【符号の説明】

- 1・・・ 光源装置
- 2、2 0 a、2 0 b・・・ 反射素子群
- 3・・・ コンデンサー光学系
- 4・・・ 偏向ミラー
- 5・・・ 反射型マスク
- 6・・・ 投影系
- 7・・・ ウエハ

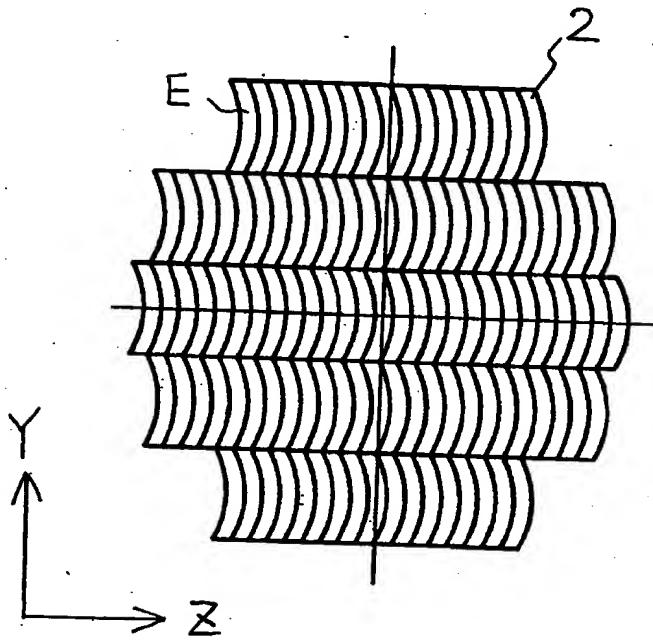
【書類名】

図面

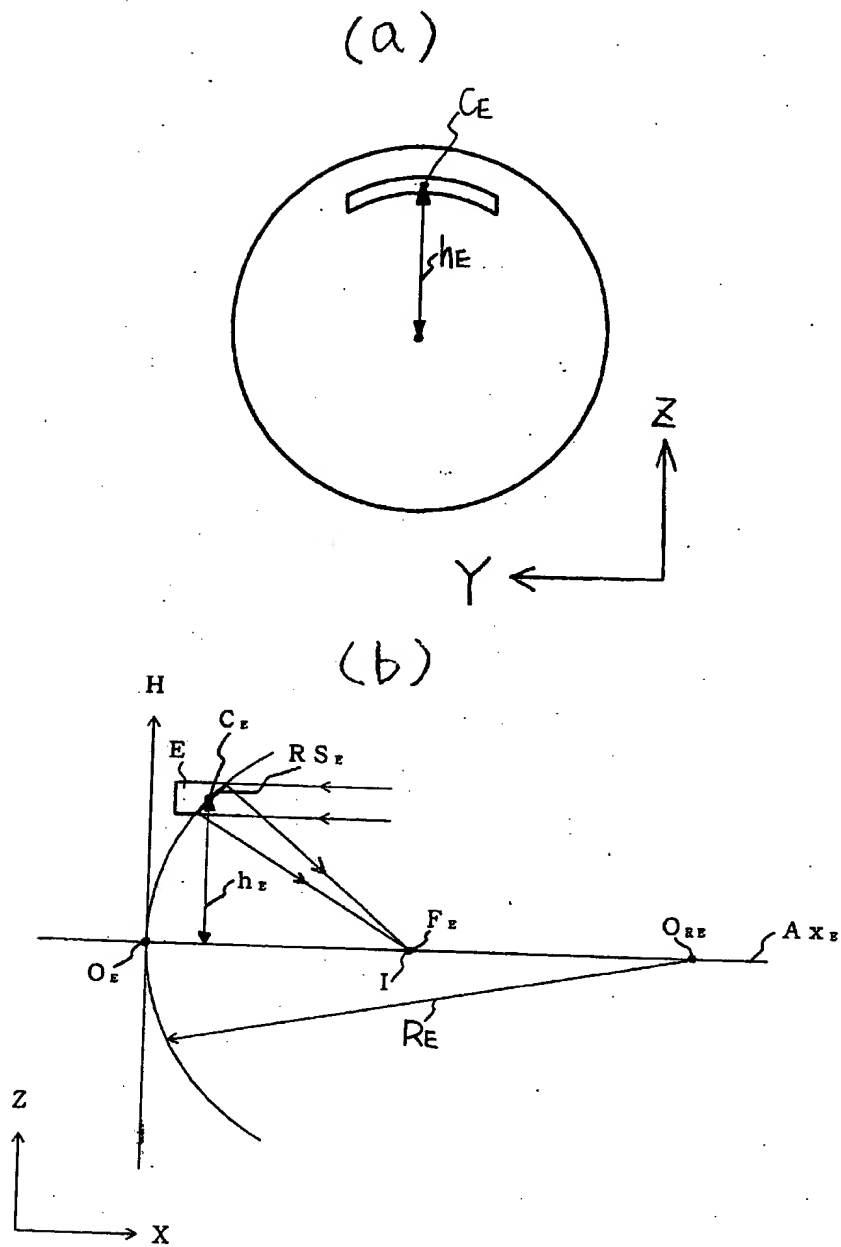
【図1】



【図2】

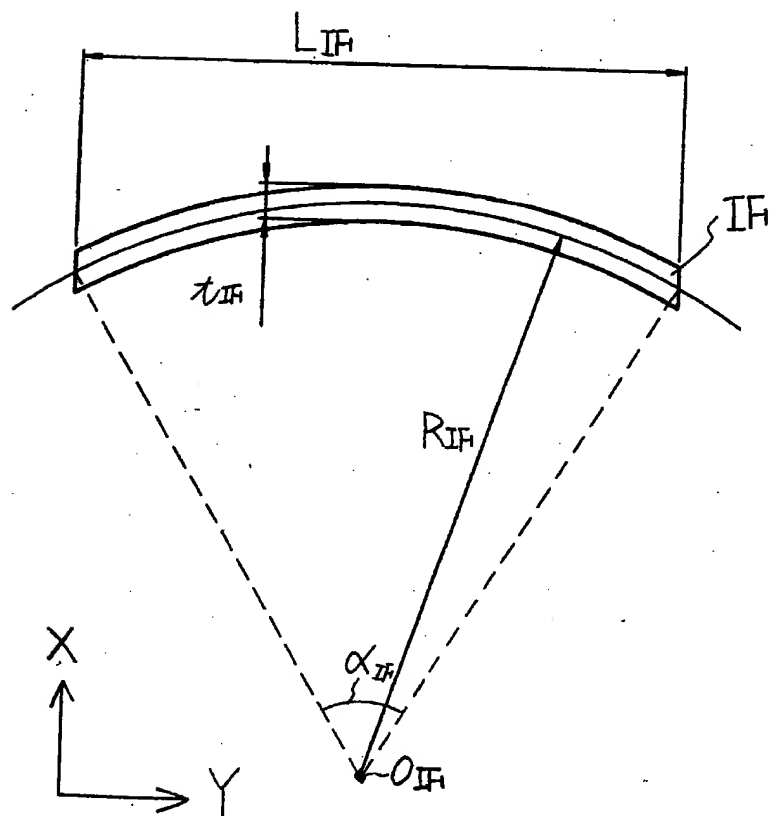


【図 3】

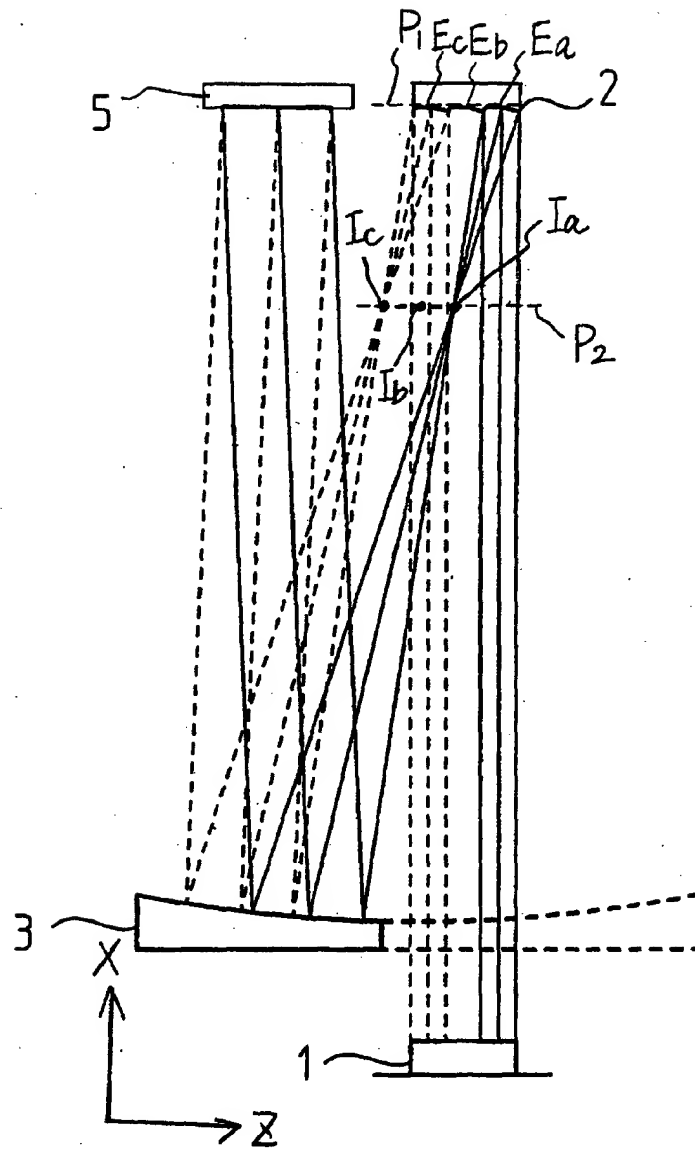




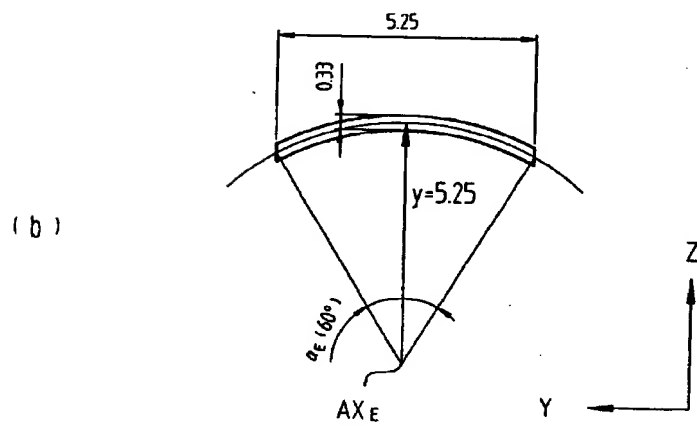
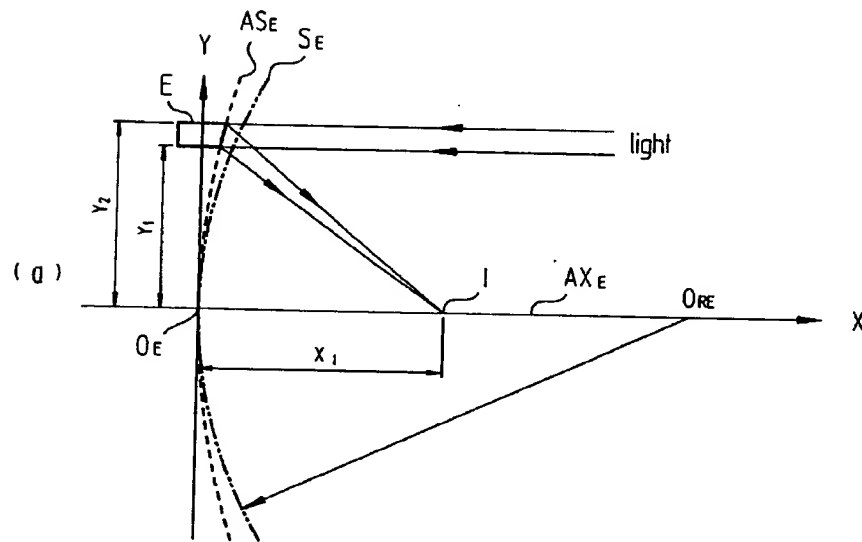
【図4】



【図 5】

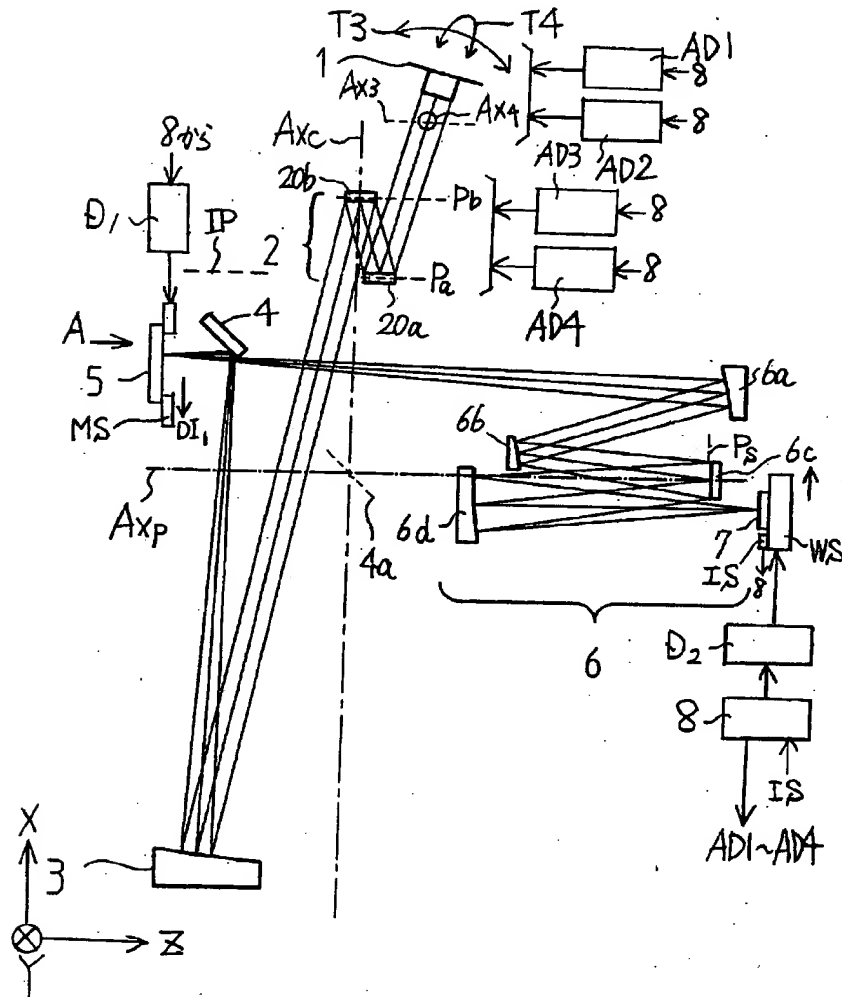


【図 6】

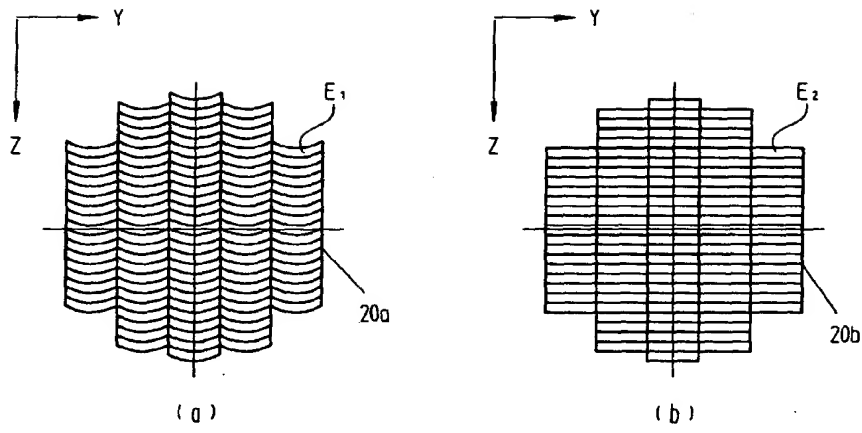




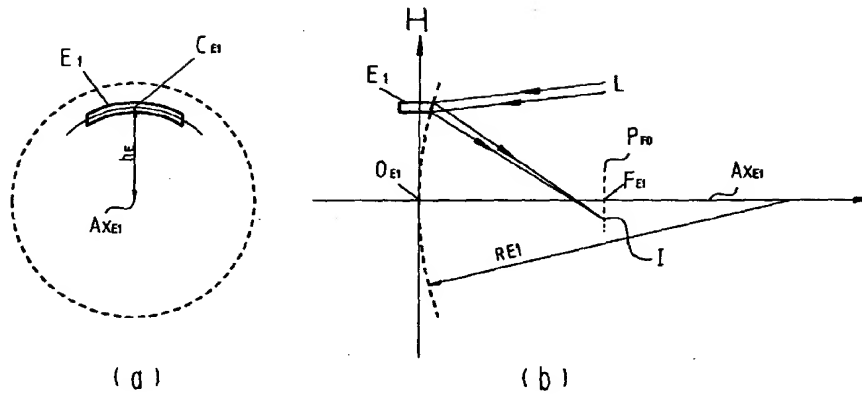
【図 8】



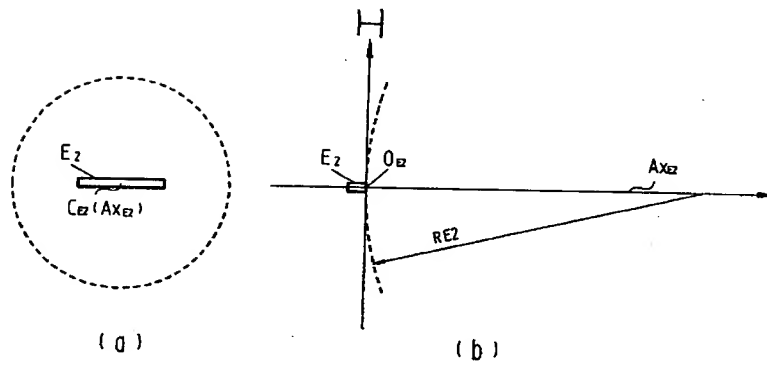
【図 9】



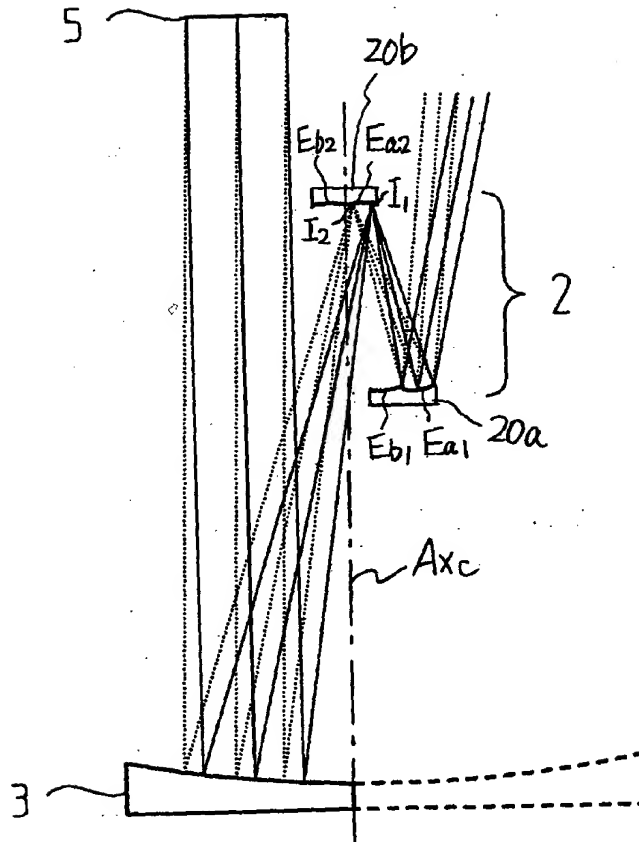
【図 10】



【図 1 1】

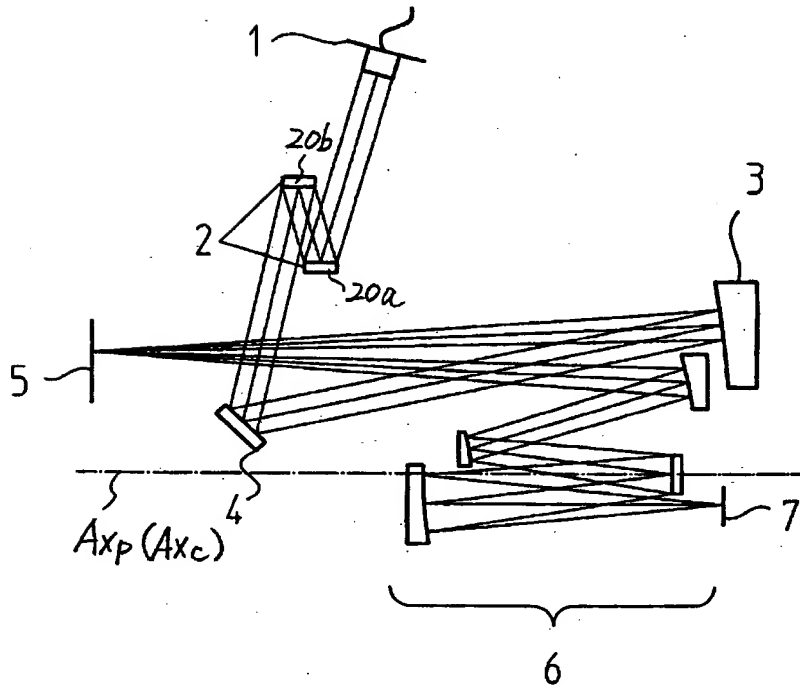


【図12】

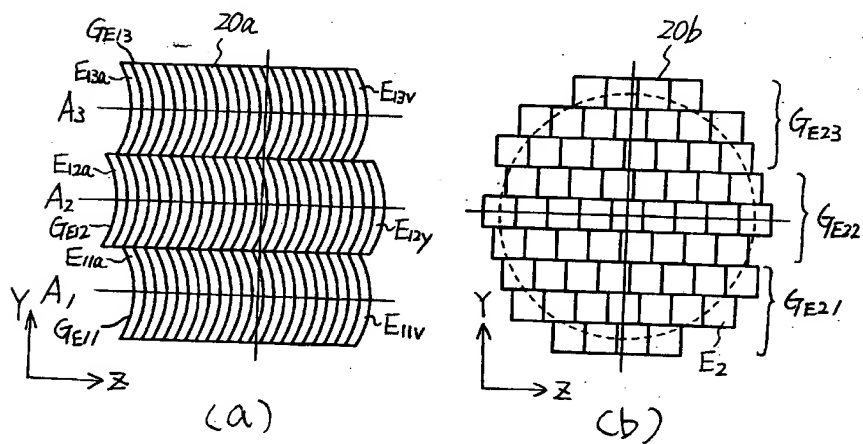




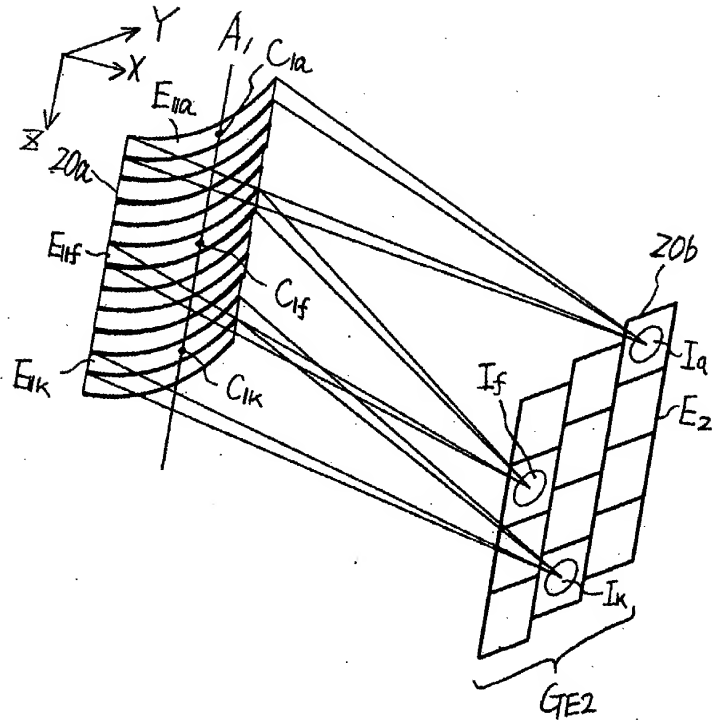
【図13】



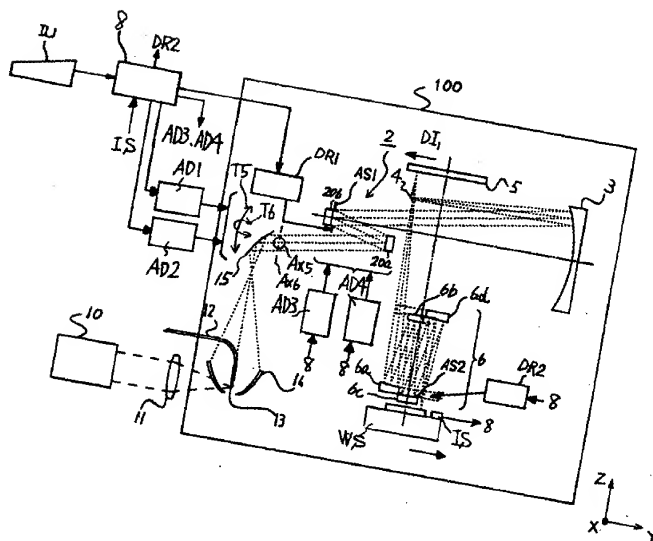
【図14】



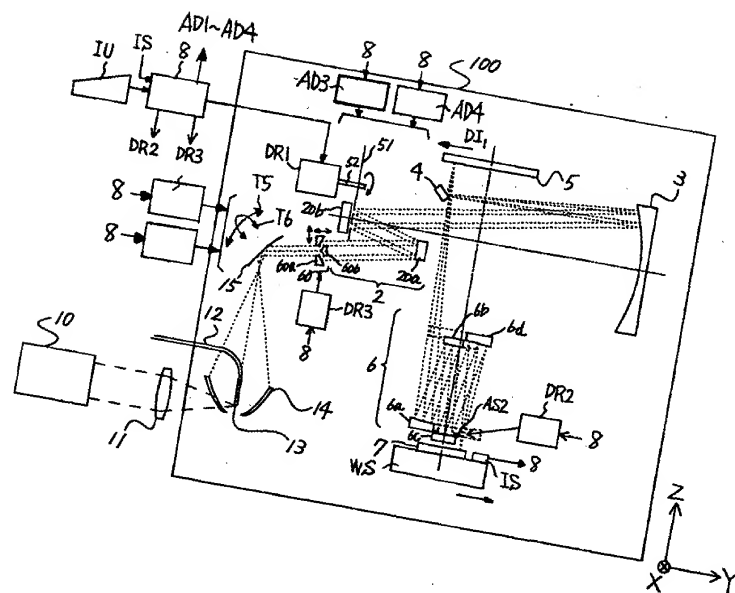
【図15】



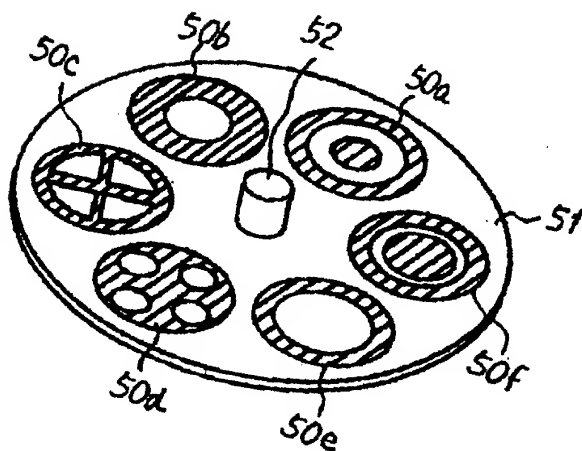
【図16】



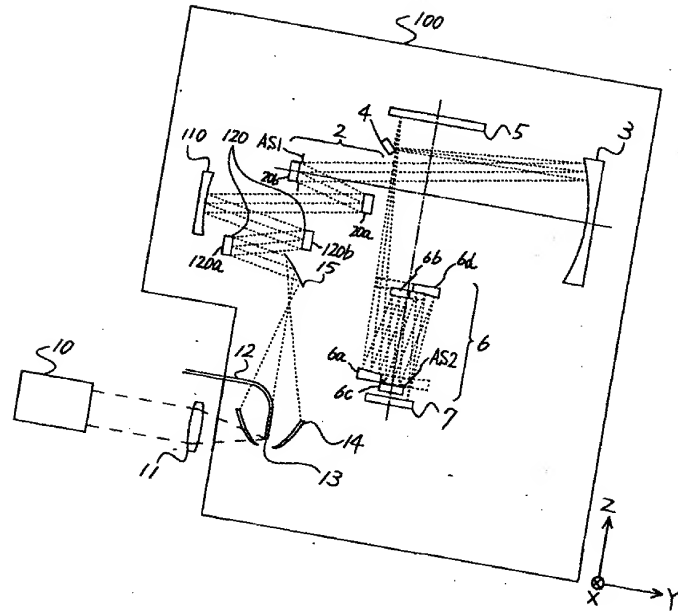
【図17】



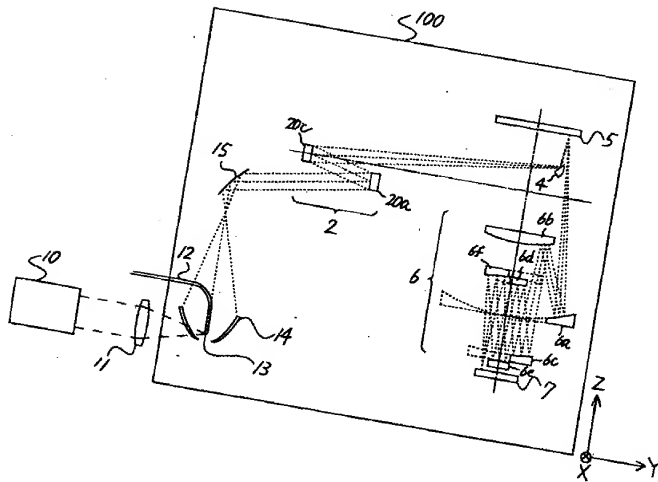
【図18】



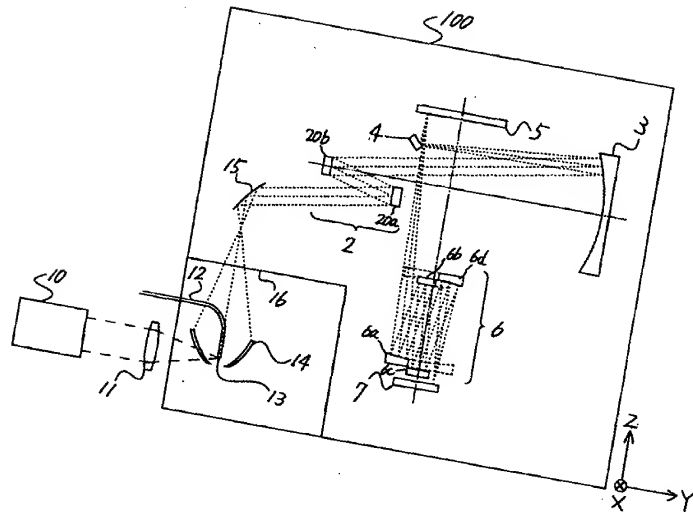
【図19】



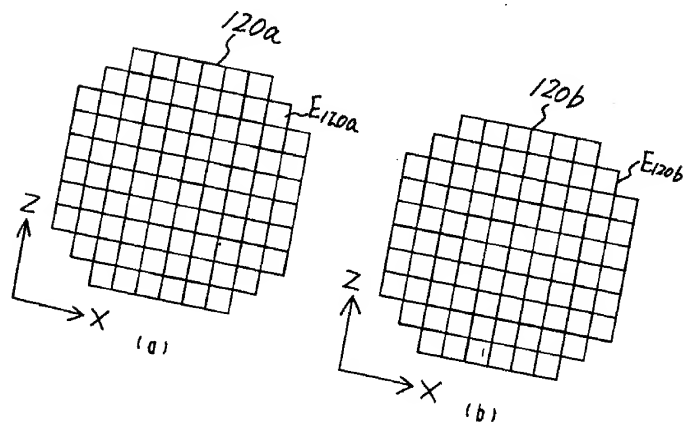
【図20】



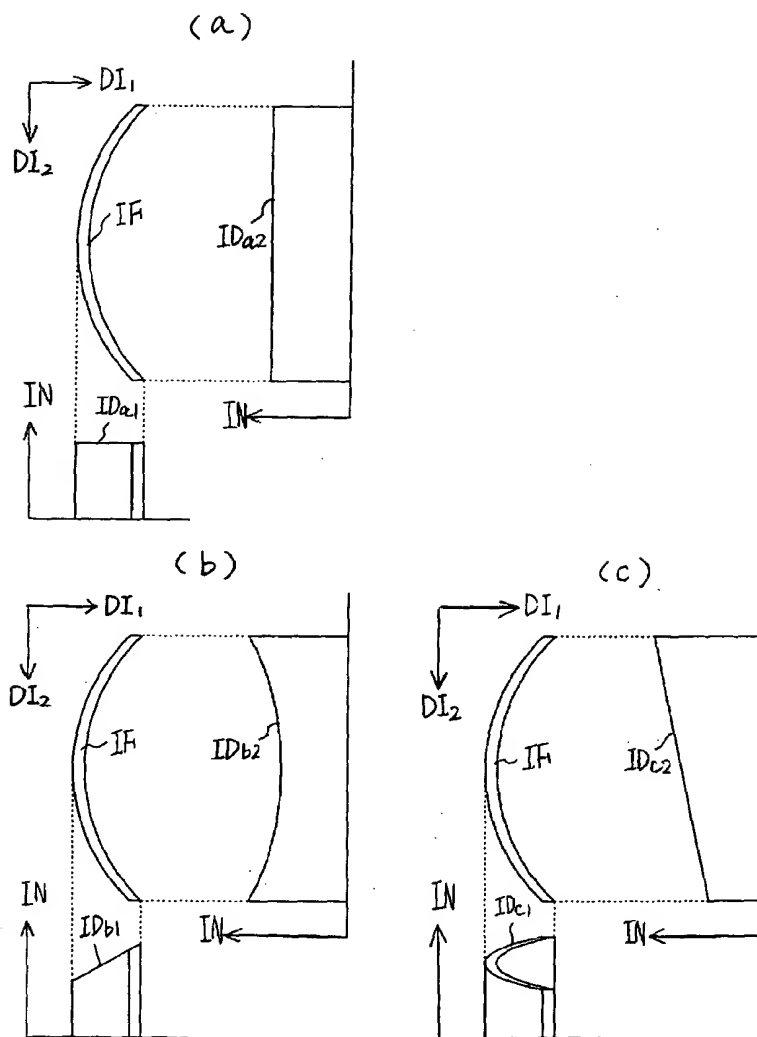
【図21】



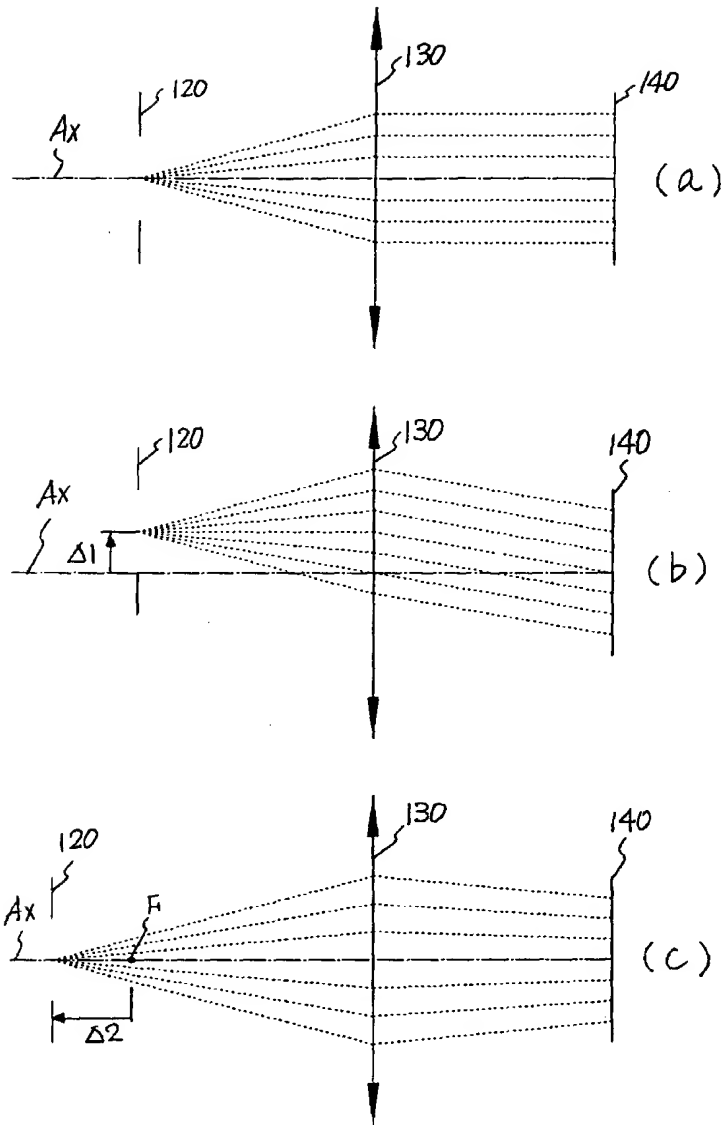
【図22】



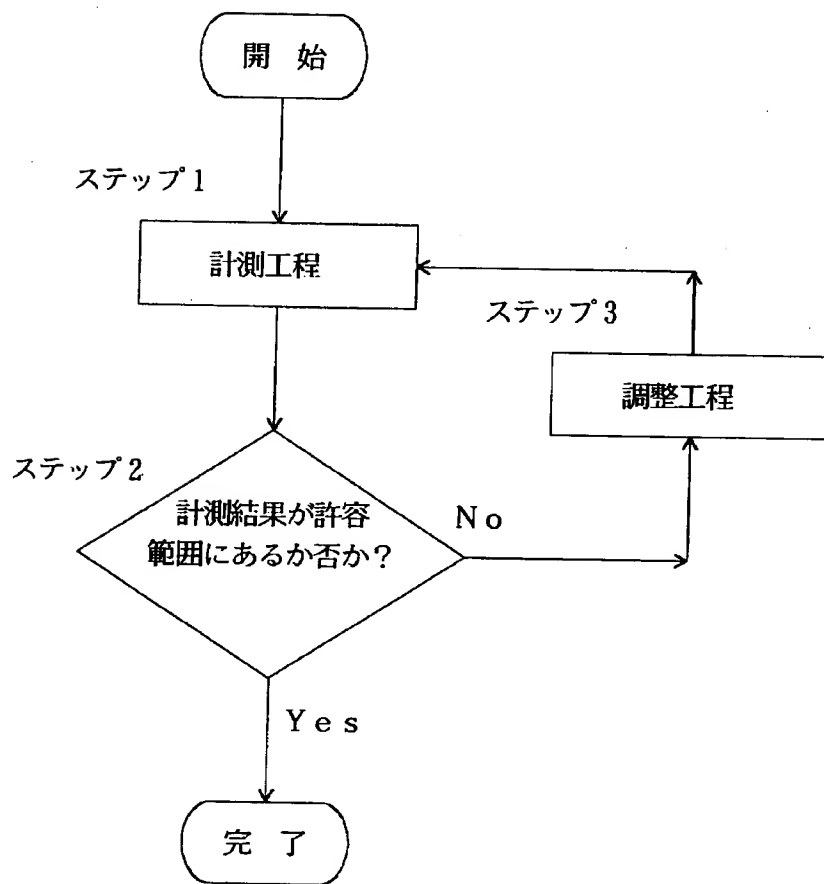
【図 23】



【図 24】

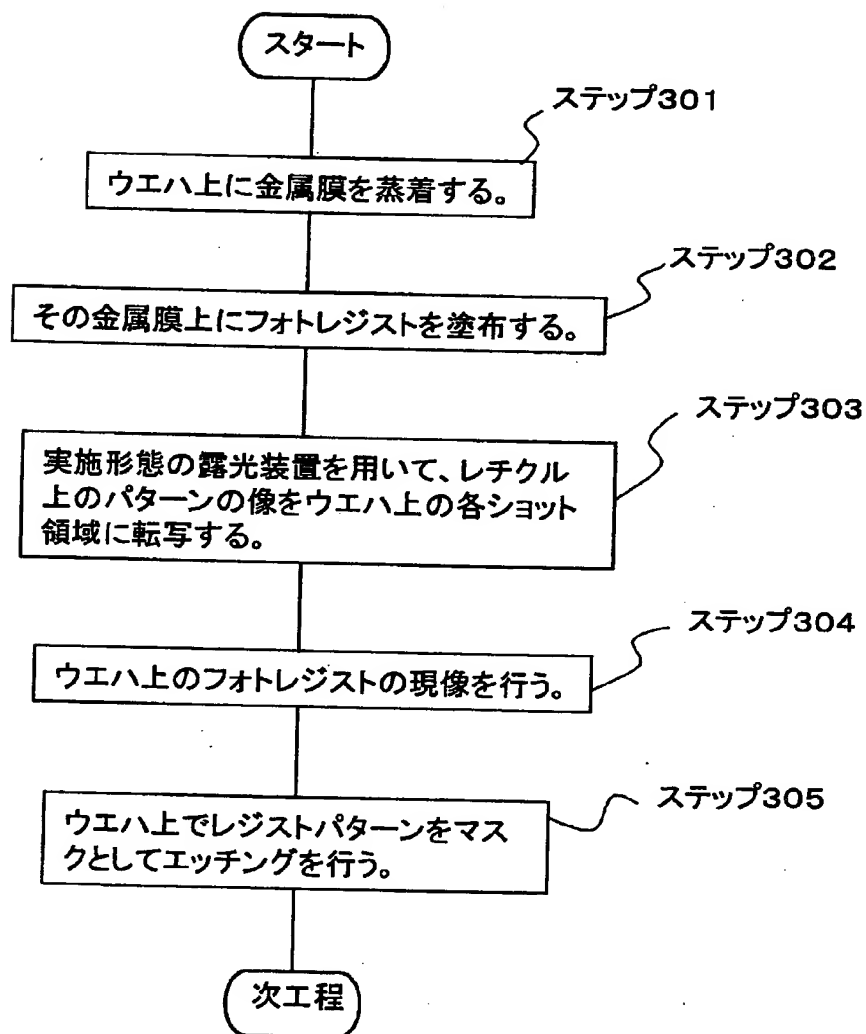


【図 2 5】

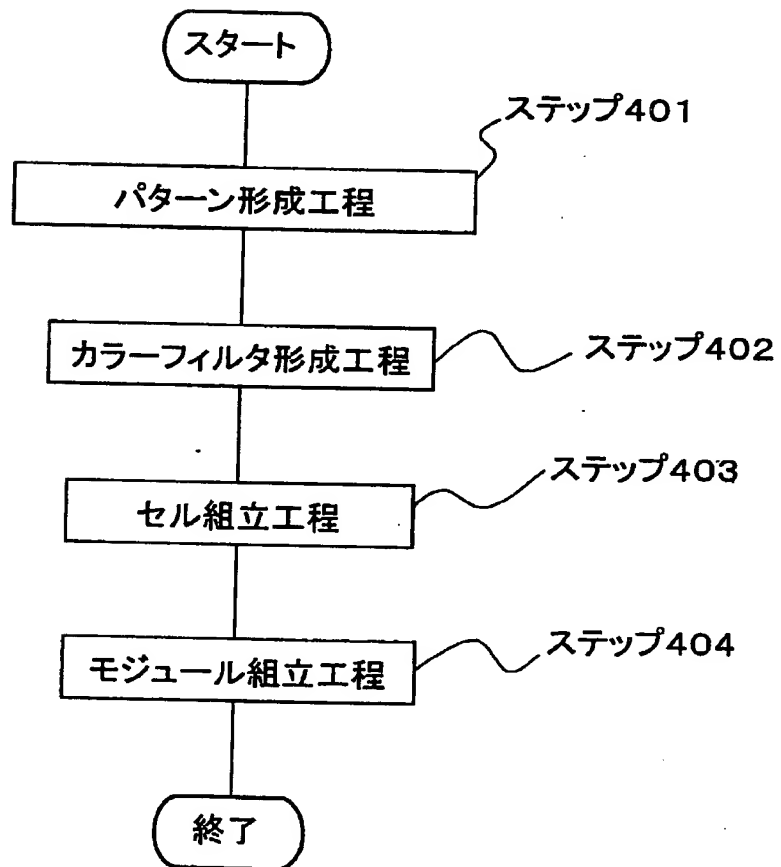




【図26】



【図 2 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【目的】 厳しい照明条件を十分に満たし得る高性能な露光装置、及びより一層微細なパターンの露光によってより一層優れたマイクロデバイスの製造方法の提供にある。

【構成】 マスクに形成されたパターンを感光性基板に投影する投影系；マスク上の位置に照明領域を形成する照明光学系；投影系に対してマスク及び感光性基板を所定の走査露光方向に沿って相対的に移動させる移動手段と；走査露光方向に沿った照明特性を調整する第 1 照明調整手段；走査露光方向と交差する方向での照明特性を調整する第 2 照明調整手段；テレセントリシティに傾斜成分を付与する第 1 テレセントリシティ調整手段；光軸からの位置に応じたテレセントリシティを調整する第 2 テレセントリシティ調整手段；を含む構成とした。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004112]

1. 変更年月日 1990年 8月29日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号  
氏 名 株式会社ニコン